



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Kazuyuki MIYASHITA, et al.

GAU:

SERIAL NO: 10/702,435

EXAMINER:

FILED: November 7, 2003

FOR: OPTICAL PROPERTIES MEASUREMENT METHOD, EXPOSURE METHOD, AND DEVICE
MANUFACTURING METHOD

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☒ Full benefit of the filing date of International Application Serial Number PCT/JP02/04435, filed MAY 7, 2002, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e):
- | <u>Application No.</u> | <u>Date Filed</u> |
|--|-------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below. | |

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	2001-135779	May 7, 2001
JAPAN	2002-031902	February 8, 2002
JAPAN	2002-031916	February 8, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)
- ☐ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.


Masayasu Mori

Registration No. 47,301

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 05/03)

10/702,435
10/702,435

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 1 年 5 月 7 日
Date of Application:

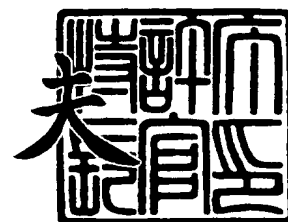
出 願 番 号 特 願 2 0 0 1 - 1 3 5 7 7 9
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 1 - 1 3 5 7 7 9]

出 願 人 株 式 会 社 ニ コ ン
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 2 月 2 5 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 1 0 7 5 1 0

【書類名】 特許願

【整理番号】 00-01038

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン
 内

 【氏名】 宮下 和之

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン
 内

 【氏名】 三口 貴史

【特許出願人】

 【識別番号】 000004112

 【氏名又は名称】 株式会社ニコン

【代理人】

 【識別番号】 100102901

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 立石 篤司

 【電話番号】 042-739-6625

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 053132

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9408046

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光学特性計測方法、露光方法及びデバイス製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 面上のパターンを第 2 面上に転写する投影光学系の光学特性を計測する光学特性計測方法であって、

少なくとも 1 つの露光条件を変更しながら、前記第 1 面上に配置された計測用パターンの像を前記投影光学系の第 2 面側に配置された基板上の複数の領域に順次転写する第 1 工程と；

前記計測用パターンが異なる露光条件で転写された前記基板上的の前記複数の領域の各々を撮像し、複数のピクセルデータからなる領域毎の撮像データをそれぞれ求め、前記領域毎に前記ピクセルデータの加算値及び分散の少なくとも一方と所定の閾値とを比較して前記計測用パターンの像の形成状態を検出する第 2 工程と；

前記検出結果に基づいて前記投影光学系の光学特性を求める第 3 工程と；を含む光学特性計測方法。

【請求項 2】 前記第 2 工程では、前記複数の領域の少なくとも一部の複数の領域内の全てのピクセルデータの加算値及び分散の少なくとも一方と前記閾値とを比較して前記計測用パターンの像の形成状態を検出することを特徴とする請求項 1 に記載の光学特性計測方法。

【請求項 3】 前記第 2 工程では、前記複数の領域の少なくとも一部の複数の領域内の一部のピクセルデータの加算値及び分散の少なくとも一方と前記閾値とを比較して前記計測用パターンの像の形成状態を検出することを特徴とする請求項 1 に記載の光学特性計測方法。

【請求項 4】 前記第 2 工程では、前記複数の領域の少なくとも一部の複数の領域内の全てのピクセルデータの加算値及び分散の少なくとも一方と前記閾値とを比較して第 1 の形成状態を検出するとともに、前記複数の領域の少なくとも一部の複数の領域内の一部分のピクセルデータの加算値及び分散の少なくとも一方と前記閾値とを比較して第 2 の形成状態を検出し、前記第 3 工程では、前記第 1 の形成状態の検出結果と前記第 2 の形成状態の検出結果とに基づいて、前記投

影光学系の光学特性を求めることを特徴とする請求項 1 に記載の光学特性計測方法。

【請求項 5】 前記第 2 工程では、異なる複数の閾値毎に前記計測用パターンの像の形成状態を検出し、前記第 3 工程では、前記閾値毎に求めた前記検出結果に基づいて光学特性を計測することを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の光学特性計測方法。

【請求項 6】 前記露光条件は、前記投影光学系の光軸方向に関する前記基板の位置及び前記基板上に照射されるエネルギービームのエネルギー量の少なくとも一方を含むことを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の光学特性計測方法。

【請求項 7】 前記第 1 工程では、前記投影光学系の光軸方向に関する前記基板の位置と前記基板上に照射されるエネルギービームのエネルギー量をそれぞれ変更しながら、前記計測用パターンの像を前記基板上の複数の領域に順次転写し、前記第 2 工程では、前記投影光学系の光軸方向に関する位置毎に前記像の形成状態を検出し、前記第 3 工程では、その像が検出された前記エネルギービームのエネルギー量と前記投影光学系の光軸方向に関する位置との相関関係により最良フォーカス位置を決定することを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の光学特性計測方法。

【請求項 8】 露光用のエネルギービームをマスクに照射し、前記マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光方法であって、

請求項 1 ～ 7 のいずれか一項に記載の光学特性計測方法によって計測された前記光学特性を考慮して前記投影光学系を調整する工程と；

前記調整された投影光学系を介して前記マスクに形成されたパターンを前記基板に転写する工程と；を含む露光方法。

【請求項 9】 リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程では、請求項 8 に記載の露光方法を用いることを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光学特性計測方法、露光方法及びデバイス製造方法に係り、更に詳しくは、投影光学系の光学特性を計測する光学特性計測方法、該光学特性計測方法によって計測された光学特性を考慮して調整された投影光学系を用いて露光を行う露光方法、及び該露光方法を利用したデバイスの製造方法に関する。

【0 0 0 2】**【従来の技術】**

従来より、半導体素子、液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程では、マスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）に形成されたパターンを投影光学系を介してレジスト等が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板（以下、適宜「ウエハ」ともいう）上に転写する露光装置が用いられている。この種の装置としては、近年では、スループットを重視する観点から、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆる「ステッパ」）や、このステッパを改良したステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置などの逐次移動型の露光装置が、比較的多く用いられている。

【0 0 0 3】

また、半導体素子（集積回路）等は年々高集積化しており、これに伴い半導体素子等の製造装置である投影露光装置には、一層の高解像力、すなわちより微細なパターンを精度良く転写できることが要求されるようになってきた。投影露光装置の解像力を向上させるためには、投影光学系の光学性能を向上させることが必要であり、従って投影光学系の光学特性（結像特性を含む）を正確に計測し、評価することが重要となっている。

【0 0 0 4】

そこで、投影光学系の光学特性、例えばパターンの結像面の正確な計測は、投影光学系の視野内の各評価点（計測点）における最適なフォーカス位置（最良フォーカス位置）を正確に計測できることが前提となる。

【0 0 0 5】

従来の投影露光装置における最良フォーカス位置の計測方法としては、主として以下の2つが知られている。

【0006】

1つは、いわゆるCD／フォーカス法として知られている計測方法である。ここでは、所定のレチクルパターン（例えば、ラインアンドスペースパターン等）をテストパターンとして、このテストパターンを投影光学系の光軸方向に関する複数のウエハ位置でテスト用ウエハに転写する。そして、そのテスト用ウエハを現像して得られるレジスト像（転写されたパターンの像）の線幅値を走査型電子顕微鏡（SEM）等を用いて目視にて計測し、その線幅値と投影光学系の光軸方向に関するウエハ位置（以下、適宜「フォーカス位置」ともいう）との相関関係に基づいて最良フォーカス位置を判断する。

【0007】

他の1つは、いわゆるSMPフォーカス計測法として知られている計測方法である。ここでは、複数のフォーカス位置で、くさび形マークのレジスト像をウエハ上に形成し、フォーカス位置の違いによるレジスト像の線幅値の変化を長手方向の寸法変化に増幅させて置き換え、ウエハ上のマークを検出するアライメント系などのマーク検出系を用いてレジスト像の長手方向の長さを計測する。そして、フォーカス位置とレジスト像の長さとの相関関係を示す近似曲線の極大値近傍を所定のスライスレベルでスライスし、得られたフォーカス位置の範囲の中点を最良フォーカス位置と判断する。

【0008】

そして、種々のテストパターンについて、このようにして得られた最良フォーカス位置に基づいて、投影光学系の光学特性である非点収差や像面湾曲等を計測している。

【0009】**【発明が解決しようとする課題】**

しかし、上述したCD／フォーカス法では、例えばレジスト像の線幅値をSEMで計測するために、SEMのフォーカス合わせを厳密に行う必要があり、1点当たりの計測時間が非常に長く、多数点での計測をするためには数時間から数十時間が必要とされていた。また、投影光学系の光学特性を計測するためのテストパターンも微細化するとともに、投影光学系の視野内での評価点の数も増加す

ることが予想される。従って、SEMを用いた従来の計測方法では、計測結果が得られるまでのスループットが大幅に低下するという不具合がある。また、測定誤差や測定結果の再現性についても、より高いレベルが要求されるようになり、従来の計測方法ではその対応が困難となってきた。さらに、フォーカス位置と線幅値の相関関係を示す近似曲線は、誤差を小さくするために4次以上の近似曲線が用いられており、それには、評価点毎に少なくとも5種類のフォーカス位置に関する線幅値が求められなければならないという制約があった。また、最良フォーカス位置からずれたフォーカス位置（投影光学系の光軸方向に関する＋方向と－方向との両方を含む）での線幅値と最良フォーカス位置での線幅値との差は、誤差を小さくするために10%以上であることが要求されているが、この条件を満足させることが困難となってきた。

【0010】

また、上述したSMPフォーカス計測法では、通常、計測を単色光で行うために、レジスト像の形状の違いにより干渉の影響が異なり、それが計測誤差（寸法オフセット）につながることを考えられる。さらに、画像処理にてくさび形マークのレジスト像の長さ計測を行うには、レジスト像の最も細くなる長手方向の両端部分までの情報を詳細に取り込む必要があり、現状の画像取り込み機器（CCDカメラ等）の分解能では未だ十分ではないという不具合がある。また、テストパターンが大きいために、投影光学系の視野内での評価点の数を増加させることが困難であった。

【0011】

本発明は、かかる事情の下になされたものであり、その第1の目的は、短時間で、精度及び再現性良く投影光学系の光学特性を計測することができる光学特性計測方法を提供することにある。

【0012】

また、本発明の第2の目的は、高精度な露光を実現できる露光方法を提供することにある。

【0013】

また、本発明の第3の目的は、高集積度のデバイスの生産性を向上させること

ができるデバイス製造方法を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】

請求項1に記載の発明は、第1面上のパターンを第2面上に転写する投影光学系（PL）の光学特性を計測する光学特性計測方法であって、少なくとも1つの露光条件を変更しながら、前記第1面上に配置された計測用パターン（200）の像を前記投影光学系の第2面側に配置された基板（W）上の複数の領域に順次転写する第1工程と；前記計測用パターンが異なる露光条件で転写された前記基板上の前記複数の領域の各々を撮像し、複数のピクセルデータからなる領域毎の撮像データをそれぞれ求め、前記領域毎に前記ピクセルデータの加算値及び分散の少なくとも一方と所定の閾値とを比較して前記計測用パターンの像の形成状態を検出する第2工程と；前記検出結果に基づいて前記投影光学系の光学特性を求める第3工程と；を含む光学特性計測方法である。

【0015】

本明細書において、「露光条件」とは、照明条件（マスクの種別を含む）、像面上における露光ドーズ量等狭義の露光条件の他、投影光学系の光学特性など露光に関連する全ての構成部分の設定条件を含む広義の露光条件を意味する。

【0016】

これによれば、少なくとも1つの露光条件を変更しながら計測用パターンの像を基板上の複数の領域に順次転写する（第1工程）。この結果、基板上の各領域には、それぞれ転写時の露光条件が異なる計測用パターンの像が転写される。

【0017】

次に、基板上の複数の領域をそれぞれ撮像し、領域毎にピクセルデータの加算値及び分散の少なくとも一方（以下、適宜「コントラスト」という）と所定の閾値とを比較して計測用パターンの像の形成状態を検出する（第2工程）。この場合、コントラストが所定の閾値より大きいか否かによって像の形成状態が検出される。このように、像のコントラストを利用して画像処理の手法により像の形成状態を検出しているため、従来の寸法を計測する方法（例えば、前述したCD／フォーカス法やSMPフォーカス計測法等）と比較して、短時間で像の形成状態

を検出することができる。また、客観的かつ定量的な撮像データを用いているため、従来の方法と比較して、形成状態の検出精度及び再現性を向上させることができる。

【0018】

この場合において、上記像の形成状態の検出は、基板を現像することなく基板上に形成された潜像に対して行っても良いし、上記像が形成された基板を現像した後、基板上に形成されたレジスト像、あるいはレジスト像が形成された基板をエッチング処理して得られる像（エッチング像）などに対して行っても良い。ここで、基板上における像の形成状態を検出するための感光層は、フォトリジストに限らず、光（エネルギー）の照射によって像（潜像及び顕像）が形成されるものであれば良い。例えば、感光層は、光記録層、光磁気記録層などであっても良く、従って、感光層が形成される物体もウエハ又はガラスプレート等に限らず、光記録層、光磁気記録層が形成可能な板等であっても良い。

【0019】

なお、上記撮像データは、例えば露光装置のアライメント検出系（アライメントマークの像を撮像素子上に結像する画像処理方式のアライメント検出系、いわゆる F I A (Field Image Alignment) 系) などを用いても良い。

【0020】

そして、像の形成状態の検出結果に基づいて投影光学系の光学特性を求める（第3工程）。ここでは、客観的かつ定量的な撮像データを用いた検出結果に基づいて光学特性が求められるために、従来の方法と比較して光学特性を精度及び再現性良く計測することができる。

【0021】

また、従来の寸法を計測する方法に比べて、計測用パターンを小さくすることができるため、レチクルのパターン領域（P A）内に多くの計測用パターンを配置することが可能となる。従って、評価点の数を増加させることができるとともに、各評価点間の間隔を狭くすることができ、結果的に光学特性計測の測定精度を向上させることが可能となる。

【0022】

従って、請求項 1 に記載の光学特性計測方法によれば、短時間で、精度及び再現性良く投影光学系の光学特性を計測することができる。

【 0 0 2 3 】

この場合において、請求項 2 に記載の光学特性計測方法の如く、前記第 2 工程では、前記複数の領域の少なくとも一部の領域内の全てのピクセルデータの加算値及び分散の少なくとも一方と前記閾値とを比較して前記計測用パターンの像の形成状態を検出しても良いが、請求項 3 に記載の光学特性計測方法の如く、前記複数の領域の少なくとも一部の領域内の一部のピクセルデータの加算値及び分散の少なくとも一方と前記閾値とを比較して前記計測用パターンの像の形成状態を検出することとしても良い。

【 0 0 2 4 】

上記請求項 1 に記載の各光学特性計測方法において、請求項 4 に記載の光学特性計測方法の如く、前記第 2 工程では、前記複数の領域の少なくとも一部の領域内の全てのピクセルデータの加算値及び分散の少なくとも一方と前記閾値とを比較して前記像の第 1 の形成状態を検出するとともに、前記複数の領域の少なくとも一部の領域内の一部分のピクセルデータの加算値及び分散の少なくとも一方と前記閾値とを比較して前記像の第 2 の形成状態を検出し、前記第 3 工程では、前記第 1 の形成状態の検出結果と前記第 2 の形成状態の検出結果とに基づいて、前記投影光学系の光学特性を求めることとしても良い。

【 0 0 2 5 】

上記請求項 1 ～ 4 に記載の各光学特性計測方法において、請求項 5 に記載の光学特性計測方法の如く、前記第 2 工程では、異なる複数の閾値毎に前記計測用パターンの像の形成状態を検出し、前記第 3 工程では、前記閾値毎に求めた前記検出結果に基づいて光学特性を計測することとしても良い。

【 0 0 2 6 】

上記請求項 1 ～ 5 に記載の各光学特性計測方法において、露光条件としては種々のものが考えられるが、請求項 6 に記載の光学特性計測方法の如く、前記露光条件は、前記投影光学系の光軸方向に関する前記基板の位置及び前記基板上に照射されるエネルギービームのエネルギー量の少なくとも一方を含むこととすることが

できる。

【0027】

上記請求項1～5に記載の各光学特性計測方法において、請求項7に記載の光学特性計測方法の如く、前記第1工程では、前記投影光学系の光軸方向に関する前記基板の位置と前記基板上に照射されるエネルギービームのエネルギー量をそれぞれ変更しながら、前記計測用パターンの像を前記基板上の複数の領域に順次転写し、前記第2工程では、前記投影光学系の光軸方向に関する位置毎に前記像の形成状態を検出し、前記第3工程では、その像が検出された前記エネルギービームのエネルギー量と前記投影光学系の光軸方向に関する位置との相関関係により最良フォーカス位置を決定することとしても良い。

【0028】

請求項8に記載の発明は、露光用のエネルギービーム（IL）をマスク（R）に照射し、前記マスクに形成されたパターンを投影光学系（PL）を介して基板（W）上に転写する露光方法であって、請求項1～7のいずれか一項に記載の光学特性計測方法によって計測された前記光学特性を考慮して前記投影光学系を調整する工程と；前記調整された投影光学系を介して前記マスクに形成されたパターンを前記基板に転写する工程と；を含む露光方法である。

【0029】

これによれば、請求項1～7に記載の各光学特性計測方法によって計測された投影光学系の光学特性を考慮して最適な転写が行えるように投影光学系が調整され、その調整された投影光学系を介してマスクに形成されたパターンを基板上に転写するので、微細パターンを基板上に高精度に転写することができる。

【0030】

請求項9に記載の発明は、リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、前記リソグラフィ工程では、請求項8に記載の露光方法を用いることを特徴とするデバイス製造方法である。

【0031】

これによれば、リソグラフィ工程で、請求項8に記載の露光方法により微細パターンを基板上に精度良く転写することができるので、結果的に高集積度のデバ

イスの生産性（歩留まりを含む）を向上させることが可能となる。

【0032】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の一実施形態を図1～図17に基づいて説明する。

【0033】

図1には、本発明に係る光学特性計測方法及び露光方法を実施するのに好適な一実施形態に係る露光装置100の概略的な構成が示されている。この露光装置100は、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）である。

【0034】

この露光装置100は、照明系IOP、マスクとしてのレチクルRを保持するレチクルステージRST、レチクルRに形成されたパターンの像を感光剤（フォトレジスト）が塗布された基板としてのウエハW上に投影する投影光学系PL、ウエハWを保持して2次元平面（XY平面）内を移動するXYステージ20、XYステージ20を駆動する駆動系22、及びこれらの制御系等を備えている。この制御系は装置全体を統括制御する主制御装置28を中心として構成されている。

【0035】

前記照明系IOPは、図2に示されるように、光源1、ビーム整形光学系2、エネルギー粗調器3、オプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズ4、照明系開口絞り板5、ビームスプリッタ6、第1リレーレンズ7A、第2リレーレンズ7B、レチクルブラインド8等を備えている。

【0036】

ここで、この照明系IOPの上記構成各部について説明する。光源1としては、KrFエキシマレーザ（発振波長248nm）やArFエキシマレーザ（発振波長193nm）等が使用される。光源1は、実際には、露光装置本体が設置されるクリーンルーム内の床面、あるいは該クリーンルームとは別のクリーン度の低い部屋（サービスルーム）等に設置され、不図示の引き回し光学系を介してビーム整形光学系の入射端に接続されている。

【0037】

前記ビーム整形光学系 2 は、光源 1 からパルス発光されたレーザビーム LB の断面形状を、該レーザビーム LB の光路後方に設けられたフライアイレンズ 4 に効率よく入射するように整形するもので、例えばシリンダレンズやビームエキスパンダ（いずれも図示省略）等で構成される。

【0038】

前記エネルギー粗調器 3 は、ビーム整形光学系 2 後方のレーザビーム LB の光路上に配置され、ここでは、回転板 31 の周囲に透過率（＝1－減光率）の異なる複数個（例えば 6 個）の ND フィルタ（図 2 ではその内の 2 個の ND フィルタ 32A、32D のみが示されている）を配置し、その回転板 31 を駆動モータ 33 で回転することにより、入射するレーザビーム LB に対する透過率を 100% から等比級数的に複数段階で切り換えることができるようになっている。駆動モータ 33 は、主制御装置 28 によって制御される。

【0039】

前記フライアイレンズ 4 は、エネルギー粗調器 3 後方のレーザビーム LB の光路上に配置され、レチクル R を均一な照度分布で照明するためにその射出側焦点面に多数の点光源（光源像）から成る面光源、すなわち 2 次光源を形成する。この 2 次光源から射出されるレーザビームを以下においては、「パルス照明光 IL」と呼ぶものとする。なお、フライアイレンズ 4 に代えて、オプティカルインテグレータとしてロッド型（内面反射型）インテグレータを用いても良い。

【0040】

前記フライアイレンズ 4 の射出側焦点面の近傍に、円板状部材から成る照明系開口絞り板 5 が配置されている。この照明系開口絞り板 5 には、ほぼ等角度間隔で、例えば通常の円形開口より成る開口絞り、小さな円形開口より成りコヒーレンスファクタである σ 値を小さくするための開口絞り（小 σ 絞り）、輪帯照明用の輪帯状の開口絞り（輪帯絞り）、及び変形光源法用に複数の開口を偏心させて配置して成る変形開口絞り（図 2 ではこのうちの 2 種類の開口絞りのみが図示されている）等が配置されている。この照明系開口絞り板 5 は、主制御装置 28 により制御されるモータ等の駆動装置 51 により回転されるようになっており、こ

れによりいずれかの開口絞りがパルス照明光 I L の光路上に選択的に設定される。

【0041】

照明系開口絞り板 5 後方のパルス照明光 I L の光路上に、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ 6 が配置され、更にこの後方の光路上に、レチクルブラインド 8 を介在させて第 1 リレーレンズ 7 A 及び第 2 リレーレンズ 7 B から成るリレー光学系が配置されている。

【0042】

レチクルブラインド 8 は、レチクル R のパターン面に対する共役面に配置され、例えば 2 枚の L 字型の可動ブレード、あるいは上下左右に配置された 4 枚の可動ブレードから成り、可動ブレード同士で囲まれて形成される開口がレチクル R 上の照明領域を規定する。この場合、各可動ブレードの位置を調整することにより、開口の形状を任意の矩形状に設定することが可能である。各可動ブレードは、例えばレチクル R のパターン領域の形状に併せて不図示のブラインド駆動装置を介して主制御装置 28 によって駆動制御されるようになっている。

【0043】

リレー光学系を構成する第 2 リレーレンズ 7 B 後方のパルス照明光 I L の光路上には、当該第 2 リレーレンズ 7 B を通過したパルス照明光 I L をレチクル R に向けて反射する折り曲げミラー M が配置されている。

【0044】

このようにして構成された照明系 I O P の作用を簡単に説明すると、光源 1 からパルス発光されたレーザビーム L B は、ビーム整形光学系 2 に入射して、ここで後方のフライアイレンズ 4 に効率よく入射するようにその断面形状が整形された後、エネルギー粗調器 3 に入射する。そして、このエネルギー粗調器 3 のいずれかの ND フィルタを透過したレーザビーム L B は、フライアイレンズ 4 に入射する。これにより、フライアイレンズ 4 の射出側焦点面に多数の点光源（光源像）より成る面光源、すなわち 2 次光源が形成される。この 2 次光源から射出されたパルス照明光 I L は、照明系開口絞り板 5 上のいずれかの開口絞りを通過した後、透過率が大きく反射率が小さなビームスプリッタ 6 に至る。このビームスプリッ

タ 6 を透過した露光光としてのパルス照明光 I_L は、第 1 リレーレンズ 7 A を経てレチクルブラインド 8 の矩形の開口部を通過した後、第 2 リレーレンズ 7 B を通過してミラー M によって光路が垂直下方に折り曲げられた後、レチクルステージ R S T 上に保持されたレチクル R 上の矩形（例えば正方形）の照明領域を均一な照度分布で照明する。

【0045】

ウエハ W 上の被露光領域に照射される露光光のエネルギー量（より正確には、ウエハ W 上の 1 点に与えられる積算露光量（積算エネルギー量））の調整は、主制御装置 28 により、照明系 I O P 内のエネルギー粗調器 3 あるいは光源 1 を制御して行われる。すなわち、第 1 の方法として、露光時間は一定に維持し、エネルギー粗調器 3 を用いてレーザービームの透過率を変化させて露光エネルギー量を調整したり、または第 2 の方法として、露光時間は一定に維持し、光源 1 に指示を与えてレーザービームの 1 パルス当たりのエネルギーを変化させることにより露光エネルギー量を調整する。また、これら 2 つの方法を適宜組み合わせることも可能である。

【0046】

図 1 に戻り、前記レチクルステージ R S T は、照明系 I O P の図 1 における下方に配置されている。このレチクルステージ R S T 上には不図示のバキュームチャック等を介してレチクル R が吸着保持されている。レチクルステージ R S T は、不図示の駆動系によって X 軸方向（図 1 における紙面左右方向）、Y 軸方向（図 1 における紙面直交方向）及び θ_z 方向（X Y 面に直交する Z 軸回りの回転方向）に微小駆動可能とされている。これにより、レチクルステージ R S T は、レチクル R のパターンの中心（レチクルセンタ）が投影光学系 P L の光軸 $A X_p$ とほぼ一致する状態でレチクル R を位置決め（レチクルアライメント）できるようになっている。図 1 では、このレチクルアライメントが行われた状態が示されている。

【0047】

前記投影光学系 P L は、レチクルステージ R S T の図 1 における下方に、その光軸 $A X_p$ の方向が X Y 面に直交する Z 軸方向となるように配置されている。この投影光学系 P L としては、ここでは両側テレセントリックな縮小系であって、

Z軸方向の共通の光軸AX_pを有する複数枚のレンズエレメントから成る屈折光学系（図示省略）が用いられている。レンズエレメントのうち特定の複数枚は、主制御装置28からの指令に基づいて、図示しない結像特性補正コントローラによって制御され、投影光学系PLの光学特性（結像特性を含む）、例えば倍率、ディストーション、コマ収差、及び像面湾曲などを調整できるようになっている。

【0048】

この投影光学系PLの投影倍率は、例えば1/5（あるいは1/4）などとされている。このため、レチクルRのパターンとウエハW上の被露光領域との位置合わせ（アライメント）が行われた状態で、パルス照明光ILによりレチクルRが均一な照度で照明されると、レチクルRのパターンが投影光学系PLにより縮小されて、フォトリソが塗布されたウエハW上に投影され、ウエハW上の被露光領域にパターンの縮小像が形成される。

【0049】

前記XYステージ20は、実際には不図示のベース上をY軸方向に移動するYステージと、このYステージ上をX軸方向に移動するXステージとで構成されているが、図1ではこれらが代表的にXYステージ20として示されている。このXYステージ20上にウエハテーブル18が搭載され、このウエハテーブル18上に不図示のウエハホルダを介してウエハWが真空吸着等によって保持されている。

【0050】

前記ウエハテーブル18は、ウエハWを保持するウエハホルダをZ軸方向及びXY面に対する傾斜方向に微小駆動するもので、Z・チルトステージとも称される。このウエハテーブル18の上面には、移動鏡24が設けられており、この移動鏡24にレーザビームを投射して、その反射光を受光することにより、ウエハテーブル18のXY面内の位置を計測するレーザ干渉計26が移動鏡24の反射面に対向して設けられている。なお、実際には、移動鏡はX軸に直交する反射面を有するX移動鏡と、Y軸に直交する反射面を有するY移動鏡とが設けられ、これに対応してレーザ干渉計もX方向位置計測用のXレーザ干渉計とY方向位置計

測用の Y レーザ干渉計とが設けられているが、図 1 ではこれらが代表して移動鏡 24、レーザ干渉計 26 として図示されている。なお、X レーザ干渉計及び Y レーザ干渉計は測長軸を複数有する多軸干渉計であり、ウエハテーブル 18 の X、Y 位置の他、回転（ヨーイング（Z 軸回りの回転である θ_z 回転）、ピッチング（X 軸回りの回転である θ_x 回転）、ローリング（Y 軸回りの回転である θ_y 回転））も計測可能となっている。従って、以下の説明ではレーザ干渉計 26 によって、ウエハテーブル 18 の X、Y、 θ_z 、 θ_y 、 θ_x の 5 自由度方向の位置が計測されるものとする。

【0051】

レーザ干渉計 26 の計測値は主制御装置 28 に供給され、主制御装置 28 はこのレーザ干渉計 26 の計測値に基づいて駆動系 22 を介して XY ステージ 20 を制御することにより、ウエハテーブル 18 が位置決めされる。

【0052】

また、ウエハ W 表面の Z 軸方向の位置及び傾斜量は、例えば特開平 6-283403 号公報等の開示される送光系 50a 及び受光系 50b を有する斜入射方式の多点焦点位置検出系から成るフォーカスセンサ AFS によって計測されるようになっている。このフォーカスセンサ AFS の計測値も主制御装置 28 に供給されており、主制御装置 28 は、フォーカスセンサ AFS の計測値に基づいて駆動系 22 を介してウエハテーブル 18 を Z 軸方向に移動し、投影光学系 PL の光軸方向に関するウエハ W の位置及び傾きを制御するようになっている。

【0053】

このようにしてウエハテーブル 18 を介してウエハ W が X、Y、Z、 θ_x 、 θ_y の 5 自由度方向の位置及び姿勢制御がなされるようになっている。なお、残りの θ_z （ヨーイング）の誤差については、レーザ干渉計 26 で計測されたウエハテーブル 18 のヨーイング情報に基づいてレチクルステージ RST とウエハテーブル 18 との少なくとも一方を回転させることによって補正される。

【0054】

また、ウエハテーブル 18 上には、その表面がウエハ W の表面と同じ高さになるような基準板 FP が固定されている。この基準板 FP の表面には、後述するア

ライメント検出系のベースライン計測等に用いられる基準マークを含む各種の基準マークが形成されている。

【0 0 5 5】

更に、本実施形態では、投影光学系 P L の側面に、ウエハ W に形成されたアライメントマークを検出するマーク検出系としてのオフ・アクシス方式のアライメント検出系 A S が設けられている。このアライメント検出系 A S は、L S A (Laser Step Alignment) 系、F I A (Filed Image Alignment) 系と呼ばれるアライメントセンサを有しており、基準板 F P 上の基準マーク及びウエハ上のアライメントマークの X、Y 2 次元方向の位置計測を行なうことが可能である。

【0 0 5 6】

ここで、L S A 系は、レーザ光をマークに照射して、回折・散乱された光を利用してマーク位置を計測する最も汎用性のあるセンサであり、従来から幅広いプロセスウエハに使用されている。F I A 系は、ハロゲンランプ等のブロードバンド（広帯域）光でマークを照明し、このマーク画像を画像処理することによってマーク位置を計測するセンサであり、アルミ層やウエハ表面の非対称マークに有効に使用される。

【0 0 5 7】

本実施形態では、これらのアライメントセンサを、適宜目的に応じて使い分け、ウエハ上の各被露光領域の正確な位置計測を行なうファインアライメント等を行なうようになっている。

【0 0 5 8】

アライメント制御装置 1 6 は、アライメント検出系 A S を構成する各アライメントセンサからの情報 D S を A / D 変換し、このデジタル化された波形信号を演算処理するとともに、さらにレーザ干渉計 2 6 からのウエハテーブル 1 8 の位置情報を参照してマーク位置を検出する。この結果は、アライメント制御装置 1 6 から主制御装置 2 8 に供給されるようになっている。

【0 0 5 9】

さらに、本実施形態の露光装置 1 0 0 では、図示が省略されているが、レチクル R の上方に、例えば特開平 7 - 1 7 6 4 6 8 号公報等の開示される、投影光学

系 P L を介してレチクル R 上のレチクルマーク又はレチクルステージ R S T 上の基準マーク（共に図示省略）と基準板 F P 上のマークとを同時に観察するための露光波長を用いた T T R（Through The Reticle）アライメント系から成る一対のレチクルアライメント顕微鏡が設けられている。これらのレチクルアライメント顕微鏡の検出信号は、アライメント制御装置 16 を介して主制御装置 28 に供給されるようになっている。

【0060】

次に、本発明に係る投影光学系の光学特性を計測するのに用いられるレチクルの一例について説明する。

【0061】

図 3 には、投影光学系の光学特性を計測するのに用いられるレチクル R_T の一例が示されている。この図 3 は、レチクル R_T をパターン面側（図 1 における下面側）から見た平面図である。このレチクル R_T は、ほぼ正方形のマスク基板としてのガラス基板 42 の中央に、パターン領域 P A が設けられ、そのパターン領域 P A 内に、後述するような複数の計測用パターンが配置されている。また、パターン領域 P A の中心、すなわちレチクル R_T の中心（レチクルセンタ）を通るパターン領域 P A の X 軸方向の両側には、一対のレチクルアライメントマーク R M 1, R M 2 が形成されている。

【0062】

ここで、前記パターン領域 P A 内に配置されている計測用パターン 200 について、図 4 を用いて説明する。

【0063】

計測用パターン 200 は、本実施形態では、一例として図 4 に示されるように、4 種類のパターン、すなわち、第 1 パターン C A 1、第 2 パターン C A 2、第 3 パターン C A 3、及び第 4 パターン C A 4 から構成されている。ここで、第 1 パターン C A 1 は、所定の線幅を有するラインアンドスペース（以下、「L/S」と略述する）パターンであり、周期方向は紙面左右方向（X 軸方向：第 1 の周期方向）である。第 2 パターン C A 2 は、前記第 1 パターン C A 1 を紙面内で反時計回りに 90 度回転させた形状であり、第 2 の周期方向（Y 軸方向）を有して

いる。第3パターンCA3は、前記第1パターンCA1を紙面内で反時計回りに45度回転させた形状であり、第3の周期方向を有している。第4パターンCA4は、前記第1パターンCA1を紙面内で時計回りに45度回転させた形状であり、第4の周期方向を有している。すなわち、各パターンCA1～CA4は、周期方向が異なる以外は同一形成条件（周期、デューティ比など）で形成されたL/Sパターンである。

【0064】

また、前記第2パターンCA2は、前記第1パターンCA1の紙面下側（+Y側）に配置され、前記第3パターンCA3は、前記第1パターンCA1の紙面右側（+X側）に配置され、前記第4パターンCA4は、前記第3パターンCA3の紙面下側（+Y側）に配置されている。

【0065】

また、レチクルR_Tのパターン領域PA内には、レチクルR_Tのアライメントが行われた状態で、投影光学系PLの視野内でその光学特性を検出すべき複数の評価点に対応する位置毎に前記計測用パターン200がそれぞれ配置されている。本実施形態では、一例として、図3に示されるように、パターン領域PAの中央部及び四隅部に合計5個の計測用パターン200が配置されている。

【0066】

なお、レチクルR_Tのパターン領域PA内における計測用パターン200が配置されていない領域は、遮光パターンとなっている。

【0067】

次に、本実施形態の露光装置100によりレチクルパターンを、図7に示されるようにテストウエハW_T（以下、「ウエハW_T」と略述する）上に転写して投影光学系PLの光学特性を計測するためのレジスト像を形成する動作の流れについて図5のフローチャート、図6及び図7を用いて説明する。

【0068】

先ず、図5のステップ401において、主制御装置28は、不図示のレチクルロードを介してレチクルステージRST上にレチクルR_Tをロードする。次に、ステップ403において、主制御装置28は、不図示のウエハロードを介してウ

エハ W_T をウエハテーブル 18 上にロードする。

【0069】

そして、主制御装置 28 は、ウエハテーブル 18 上に設けられた基準板 F P の表面に形成されている一对の基準マーク（不図示）の中心が投影光学系 P L の光軸とほぼ一致するように、基準板 F P を移動する。この移動は、主制御装置 28 によりレーザ干渉計 26 の計測結果をモニタしつつ駆動系 22 を介して X Y ステージ 20 を移動することにより行われる。

【0070】

次に、主制御装置 28 は、レチクル R_T の中心（レチクルセンタ）が投影光学系 P L の光軸とほぼ一致するように、レチクルステージ R S T の位置を調整する。このとき、例えば、前述のレチクルアライメント顕微鏡（不図示）により投影光学系 P L を介してレチクルアライメントマーク R M 1, R M 2 と対応する前記基準マークとの相対位置が検出される。そして、主制御装置 28 は、レチクルアライメント顕微鏡によって検出された前記相対位置の検出結果に基づいてレチクルアライメントマーク R M 1, R M 2 と対応する前記基準マークとの相対位置誤差がともに最小となるように不図示の駆動系を介してレチクルステージ R S T の X Y 面内の位置を調整する。これにより、レチクル R_T の中心（レチクルセンタ）が投影光学系 P L の光軸と正確にほぼ一致するとともにレチクル R_T の回転角もレーザ干渉計 26 の測長軸で規定される直交座標系の座標軸に正確に一致する。すなわち、レチクルアライメントが完了する。

【0071】

そして、主制御装置 28 は、照明系 I O P 内のレチクルブラインド 8 の開口の大きさ及び位置を調整して、照明光 I L の照射領域がレチクル R_T のパターン領域に一致するように、照明系 I O P 内のレチクルブラインド 8 の開口の大きさ及び位置を調整する。

【0072】

次に、ステップ 405 において、主制御装置 28 は、露光エネルギー量の目標値を初期化する。すなわち、露光エネルギー量の目標値に P_1 を設定する。なお、本実施形態では、露光エネルギー量 P_j を P_1 から ΔP 刻みで P_N （一例として $N =$

23) まで変化させる。

【0073】

次いで、ステップ407において、主制御装置28は、ウエハ W_T のフォーカス位置（Z軸方向の位置）の目標値を初期化する。すなわち、ウエハ W_T のフォーカス位置の目標値に Z_1 を設定する。なお、本実施形態では、ウエハ W_T のフォーカス位置 Z_i を Z_1 から ΔZ 刻みで Z_M （一例として $M=13$ ）まで変化させる。

【0074】

従って、 $N \times M$ （一例として $23 \times 13 = 299$ ）回の露光が行われることになり、図7に示されるように、投影光学系PLの視野内の各評価点に対応するウエハ W_T 上の領域（以下「評価点对应領域」という）DB1～DB5にはそれぞれ $N \times M$ 個の計測用パターン200が転写されることとなる。なお、この評価点对应領域DB1～DB5は、投影光学系PLの視野内でその光学特性を検出すべき複数の評価点に対応している。そこで、本実施形態では、データ処理を効率化するため、各評価点对应領域DB1～DB5を仮想的に $N \times M$ 個のマトリックス状の区画領域にそれぞれ分割し、各区画領域を $DA_{i,j}$ （ $i=1 \sim M$ 、 $j=1 \sim N$ ）で表記することとする。なお、区画領域 $DA_{i,j}$ は、図6に示されるように、+X方向が行方向（jの増加方向）となり、+Y方向が列方向（iの増加方向）となるように配列されている。また、以下の説明において用いられる添え字i、j、及びM、Nは、上述と同じ意味を有する。

【0075】

図5に戻り、次に、ステップ409において、主制御装置28は、レーザ干渉計26の計測値をモニタしつつ駆動系22を介してXYステージ20を移動する。これにより、ウエハ W_T は、ウエハ W_T 上の各評価点对应領域DB1～DB5の区画領域 $DA_{1,1}$ に計測用パターン200の像がそれぞれ転写されるように投影光学系PLの下方の所定位置に移動される。

【0076】

さらに、ステップ410において、主制御装置28は、ウエハ W_T のフォーカス位置が上記ステップ407で設定された目標値（この場合 Z_1 ）と一致するよ

うに、フォーカスセンサ AFS からの計測値をモニタしながらウエハテーブル 18 を Z 軸方向及び傾斜方向に微少駆動する。

【0077】

主制御装置 28 は、ウエハ W_T の位置決めが完了すると、ステップ 411 において、露光を実行する。この露光中、主制御装置 28 は、露光エネルギー量が上記ステップ 405 で設定された目標値（この場合 P_1 ）となるように、前述の如く、照明系 IOP 内のエネルギー粗調器 3 あるいは光源 1 を制御して露光エネルギー量を調整する。これにより、図 7 に示されるように、ウエハ W_T 上の各評価点対応領域 DB1～DB5 の区画領域 $DA_{1,1}$ にそれぞれ計測用パターン 200 の像が転写される。

【0078】

図 5 に戻り、主制御装置 28 は、ステップ 411 の露光が終了すると、ステップ 413 において、ウエハ W_T のフォーカス位置の目標値が Z_M であるか否かを判断する。ここでは、最初の目標値 Z_1 での露光が終了しただけであるため、ステップ 413 での判断は否定され、主制御装置 28 は、ステップ 415 に移行し、ウエハ W_T のフォーカス位置の目標値に ΔZ を加算し Z_2 に変更する。

【0079】

そして、主制御装置 28 は、ステップ 409 に戻り、ウエハ W_T 上の各評価点対応領域 DB1～DB5 の区画領域 $DA_{2,1}$ に計測用パターン 200 の像がそれぞれ転写されるように所定ピッチだけ、XY ステージ 20 を前述と同様にして移動する。

【0080】

さらに、ステップ 410 において、主制御装置 28 は、ウエハ W_T のフォーカス位置が上記ステップ 415 で設定された目標値（この場合 Z_2 ）と一致するように、フォーカスセンサ AFS からの計測値をモニタしながらウエハテーブル 18 を Z 軸方向及び傾斜方向に微少駆動する。

【0081】

主制御装置 28 は、ウエハ W_T の位置決めが完了すると、ステップ 411 において、露光を実行する。

【0082】

以後、主制御装置 28 は、ステップ 413 において、そのとき設定されているウエハ W_T のフォーカス位置の目標値が Z_M であると判断するまで、ステップ 413 での判断は否定され、ステップ 415 → 409 → 410 → 411 → 413 の処理、判断を繰り返し行う。これにより、ウエハ W_T 上の各評価点对応領域 DB 1 ~ DB 5 の区画領域 $DA_{i,1}$ ($i = 3 \sim M$) に計測用パターン 200 の像がそれぞれ転写される。

【0083】

主制御装置 28 は、ステップ 413 において、そのとき設定されているウエハ W_T のフォーカス位置の目標値が Z_M であると判断すると、ステップ 413 での判断は肯定され、ステップ 417 に移行し、さらに、そのとき設定されている露光エネルギー量の目標値が P_N であるか否かを判断する。ここでは、そのとき設定されている露光エネルギー量の目標値は P_1 であるため、ステップ 417 での判断は否定され、主制御装置 28 は、ステップ 419 に移行し、露光エネルギー量の目標値に ΔP を加算して P_2 に変更し、ステップ 407 に戻る。

【0084】

そして、ステップ 407 において、主制御装置 28 は、ウエハ W_T のフォーカス位置の目標値を初期化し、ステップ 409 → 410 → 411 → 413 → 415 の処理、判断を繰り返す。これにより、ウエハ W_T 上の各評価点对応領域 DB 1 ~ DB 5 の区画領域 $DA_{i,2}$ ($i = 1 \sim M$) に計測用パターン 200 の像がそれぞれ転写される。

【0085】

露光エネルギー量の目標値 P_2 での、所定のウエハ W_T のフォーカス位置範囲 ($Z_1 \sim Z_M$) についての露光が完了すると、ステップ 419 において、主制御装置 28 は、露光エネルギー量の目標値に ΔP を加算して P_3 に変更し、ステップ 407 に戻る。このようにして、所定の露光エネルギー量の範囲 ($P_1 \sim P_N$) についての露光が完了すると、ステップ 417 での判断は肯定され、主制御装置 28 は、ステップ 421 に移行する。これにより、ウエハ W_T 上の各評価点对応領域 DB 1 ~ DB 5 には、それぞれ露光条件が異なる $N \times M$ (一例として 23×13

= 299) 個の計測用パターンの転写像 (潜像) が形成される。

【0086】

ステップ421において、主制御装置28は、不図示のウエハアンロードを介してウエハ W_T をウエハテーブル18上からアンロードした後、不図示のウエハ搬送系により、ウエハ W_T を露光装置100にインラインにて接続されている不図示のコータ・デベロッパに搬送し、ステップ423に移行する。

【0087】

ステップ423において、ウエハ W_T は、コータ・デベロッパで現像される。この現像の終了により、ウエハ W_T 上には、レジスト像が形成される。これが、投影光学系の光学特性を計測するための試料となる。

【0088】

次に、ウエハ W_T 上に形成されたレジスト像から投影光学系の光学特性を計測する方法について説明する。

【0089】

本実施形態では、アライメント検出系ASのFIA系アライメントセンサを用いてレジスト像を撮像するため、主制御装置28は、ウエハ W_T の現像が終了したことを、不図示のコータ・デベロッパの制御系からの通知により確認すると、ステップ425において、不図示のウエハローダに指示し、ステップ403と同様にしてウエハ W_T をウエハテーブル18上に再度、ロードする。

【0090】

そして、主制御装置28は、ステップ427の投影光学系の光学特性を算出する処理に移行する。

【0091】

ここで、ステップ427で行われる投影光学系の光学特性を算出する処理について、図8に示されるフローチャート及び図9～図14を用いて詳細に説明する。

【0092】

先ず、図8のステップ501において、主制御装置28は、レーザ干渉計26の計測値をモニタしつつ、駆動系22を介してXYステージ20を制御すること

により、ウエハ W_T 上の評価点对应領域 DB_1 がアライメント検出系 AS で検出可能となる位置にウエハ W_T を移動する。

【0093】

次に、ステップ503において、主制御装置28は、ウエハ W_T 上の評価点对应領域 DB_1 に形成されたレジスト像を、アライメント検出系 AS を用いて撮像し、その撮像データを取り込む。なお、アライメント検出系 AS は、レジスト像をアライメント検出系 AS のピクセルの大きさに分割し、ピクセル毎に対応するレジスト像の濃淡を8ビットのデジタルデータ（ピクセルデータ）として主制御装置28に供給するようになっている。すなわち、前記撮像データは、複数のピクセルデータで構成されている。また、ここでは、評価点对应領域 DB_1 に形成されたレジスト像を1度に撮像するものとしたが、例えば、撮像データの分解能を向上させる必要がある場合には、アライメント検出系 AS の倍率を上げ、ウエハテーブル18を XY 2次元方向に所定距離ステップングさせる動作と、アライメント検出系 AS によるレジスト像の撮像とを交互に順次繰り返すことによって、区画領域毎に撮像データの取り込みを行うこととしても良い。なお、ここでは、一例としてレジスト像の濃度が高くなる（黒に近くなる）につれてピクセルデータの値は大きくなるものとする。

【0094】

次いで、ステップ505において、主制御装置28は、アライメント検出系 AS からの評価点对应領域 DB_1 に形成されたレジスト像の撮像データを整理し、各パターン $CA_1 \sim CA_4$ 毎に、各区画領域 $DA_{i,j}$ の撮像データファイルを作成する。すなわち、各区画領域 $DA_{i,j}$ には、4つのパターン $CA_1 \sim CA_4$ の像が転写されているので、図9に示されるように、区画領域 $DA_{i,j}$ をさらに4つの矩形エリアに分割し、パターン CA_1 の像が転写されている第1エリア $AREA_1$ 内のピクセルデータをパターン CA_1 の撮像データ、パターン CA_2 の像が転写されている第2エリア $AREA_2$ 内のピクセルデータをパターン CA_2 の撮像データ、パターン CA_3 の像が転写されている第3エリア $AREA_3$ 内のピクセルデータをパターン CA_3 の撮像データ、パターン CA_4 の像が転写されている第4エリア $AREA_4$ 内のピクセルデータをパターン CA_4 の撮像データと

して、撮像データファイルを作成する。

【0095】

図8に戻り、ステップ507において、主制御装置28は、対象パターンを第1パターンCA1に設定し、前記撮像データファイルから、各区画領域 $DA_{i,j}$ における第1パターンCA1の撮像データを抽出する。そして、ステップ509において、区画領域 $DA_{i,j}$ 毎に第1エリアAREA1内に含まれる全てのピクセルデータを加算してコントラストを求め、その加算結果を第1のコントラスト $K1_{i,j}$ ($i=1\sim M$ 、 $j=1\sim N$) とする。

【0096】

次に、ステップ511において、主制御装置28は、第1のコントラスト $K1_{i,j}$ に基づいて区画領域 $DA_{i,j}$ 毎に第1パターンCA1の像の形成状態を検出する。なお、像の形成状態としては、種々のものが考えられるが、本実施形態では、区画領域内にパターンの像が形成されているか否かに着目する。そこで、主制御装置28は、前記各第1のコントラスト $K1_{i,j}$ と所定の第1の閾値 $S1$ とを比較して、各区画領域 $DA_{i,j}$ における第1パターンCA1の像の有無を検出する。ここでは、第1のコントラスト $K1_{i,j}$ が第1の閾値 $S1$ 以上の場合には、第1パターンCA1の像が形成されていると判断し、検出結果としての判定値 $F1_{i,j}$ ($i=1\sim M$ 、 $j=1\sim N$) を「0」とする。一方、第1のコントラスト $K1_{i,j}$ が所定の第1の閾値 $S1$ 未満の場合には、第1パターンCA1の像が形成されていないと判断し、検出結果としての判定値 $F1_{i,j}$ を「1」とする。図10には、この検出結果の一例がテーブルデータとして示されている。例えば、 $F1_{12,16}$ は、ウェハ W_T のZ軸方向の位置が Z_{12} で、露光エネルギー量が P_{16} のときに転写された第1パターンCA1の像の形成状態の検出結果を意味し、一例として、図10の場合では、 $F1_{12,16}$ は、「1」という値になっており、第1パターンCA1の像が形成されていないと判断されたことを示している。主制御装置28は、この検出結果を図示しない記憶装置に保存する。なお、第1の閾値 $S1$ は、予め設定されている値であり、オペレータが図示しない入出力装置を用いて変更することも可能である。

【0097】

次に、図8のステップ513において、主制御装置28は、上述の検出結果に基づいて、フォーカス位置毎にパターンの像が形成されている区画領域の数を求める。すなわち、フォーカス位置毎に判定値「0」の区画領域が何個あるかを計数し、その計数結果をパターン残存数 T_i ($i=1\sim M$)とする。この際に、周囲の領域と異なる値を持ついわゆる跳び領域は無視する。例えば、図10の場合には、ウエハ W_T のフォーカス位置が Z_1 ではパターン残存数 $T_1=1$ 、 Z_2 では $T_2=1$ 、 Z_3 では $T_3=2$ 、 Z_4 では $T_4=5$ 、 Z_5 では $T_5=7$ 、 Z_6 では $T_6=9$ 、 Z_7 では $T_7=11$ 、 Z_8 では $T_8=9$ 、 Z_9 では $T_9=7$ 、 Z_{10} では $T_{10}=5$ 、 Z_{11} では $T_{11}=2$ 、 Z_{12} では $T_{12}=1$ 、 Z_{13} では $T_{13}=1$ である。このようにして、フォーカス位置とパターン残存数 T_i との関係を求めることができる。

【0098】

なお、上記の跳び領域が生ずる原因として、計測時の誤認識、レーザのミスファイヤ、ゴミ、ノイズ等が考えられるが、このようにして生じた跳び領域がパターン残存数 T_i の検出結果に与える影響を軽減するために、フィルタ処理を行っても良い。このフィルタ処理としては、例えば評価する区画領域を中心とする 3×3 の区画領域のデータ（判定値 $F_{1i,j}$ ）の平均値（単純平均値又は重み付け平均値）を求めることが考えられる。なお、フィルタ処理は、形成状態の検出処理前のデータ（第1のコントラスト $K_{1i,j}$ ）に対して行っても勿論良く、この場合には、より有効に跳び領域の影響を軽減できる。

【0099】

次に、図8のステップ515において、主制御装置28は、上記のフォーカス位置とパターン残存数 T_i との関係において、山状のカーブが出ているか否かを確認する。例えば、図11の場合には、中央のフォーカス位置（= Z_7 ）でのパターン残存数 T_7 が11であり、両端のフォーカス位置（= Z_1 ， Z_{13} ）でのパターン残存数（ T_1 ， T_{13} ）が1であるため、主制御装置28は、山状のカーブが出ていると判断（ステップ515での判断を肯定）し、図8のステップ517に移行する。

【0100】

次に、ステップ517では、主制御装置28は、フォーカス位置とパターン残存数 T_i との関係から、フォーカス位置と露光エネルギー量との関係を求める。すなわち、パターン残存数 T_i を露光エネルギー量に変換する。ここでは、前述の如く、ウエハ W_T の露光にあつては、各区画領域 $DA_{i,j}$ を同一の大きさとし、かつ、行方向で隣接する区画領域間の露光エネルギーの差を一定値($=\Delta P$)とし、列方向で隣接する区画領域間のフォーカス位置の差を一定値($=\Delta Z$)としたので、パターン残存数 T_i が露光エネルギー量に比例するものとして扱うことができる。従つて、フォーカス位置と露光エネルギー量との関係(図12参照)は、フォーカス位置とパターン残存数 T_i との関係(図11参照)と同様な傾向を示す。

【0101】

さらに、図8のステップ517において、主制御装置28は、上記のフォーカス位置と露光エネルギー量との関係に基づいて、例えば、図12に示されるように、フォーカス位置と露光エネルギー量との相関関係を示す n 次の近似曲線(例えば4~6次曲線)を求める。

【0102】

そして、ステップ519において、主制御装置28は、上記近似曲線において、ある程度の極値が求められるかどうかを判断し、極値が求められると判断(ステップ519での判断を肯定)すると、ステップ521に移行し、その極値近傍を中心に、例えば、図13に示されるように、再度、フォーカス位置と露光エネルギー量との相関関係を示す n 次の近似曲線(例えば4~6次曲線)を求める。

【0103】

そして、ステップ523において、主制御装置28は、上記 n 次の近似曲線の極値を求め、その場合のフォーカス位置を光学特性の一つである最良フォーカス位置とするとともに、該最良フォーカス位置を図示しない記憶装置に保存する。これにより、第1パターンCA1の第1のコントラスト $K_{1i,j}$ に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

【0104】

次に、主制御装置28は、ステップ525において、形成状態の検出に用いたコントラストが第1のコントラスト $K_{1i,j}$ であるか否かを判断し、第1のコン

トラスト $K_{1,i,j}$ であれば、ステップ 525 での判断は肯定され、ステップ 531 に移行し、前記撮像データファイルから、各区画領域 $DA_{i,j}$ における第 1 パターン CA_1 の撮像データを抽出する。そして、区画領域 $DA_{i,j}$ 毎に、図 14 に示されるように、前記第 1 エリア $AREA_1$ の中央部に設定され前記第 1 エリア $AREA_1$ の約 4 分の 1 の面積を有する第 1 サブエリア $AREA_{1a}$ 内に含まれる全てのピクセルデータを加算してコントラストを求め、その加算結果を第 2 のコントラスト $K_{2,i,j}$ ($i = 1 \sim M$, $j = 1 \sim N$) とする。すなわち、第 1 パターン CA_1 の L/S パターンを構成する両端のラインパターンの撮像データを除外して、コントラストを求める。従って、第 1 サブエリア $AREA_{1a}$ の大きさは、第 1 パターン CA_1 の大きさに依存して決められる。

【0105】

そして、主制御装置 28 は、ステップ 511 に戻り、前記第 1 のコントラスト $K_{1,i,j}$ の代わりに第 2 のコントラスト $K_{2,i,j}$ を用いて、上述と同様に、ステップ 511 → 513 → 515 → 517 → 519 → 521 → 523 の処理、判断を繰り返す。これにより、第 1 パターン CA_1 の第 2 のコントラスト $K_{2,i,j}$ に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

【0106】

一方、主制御装置 28 は、ステップ 525 において、形成状態の検出に用いたコントラストが第 1 のコントラスト $K_{1,i,j}$ でなければ、ステップ 525 での判断は否定され、第 1 パターン CA_1 での処理が終了したと判断し、ステップ 527 に移行する。

【0107】

ステップ 527 において、主制御装置 28 は、対象パターンが第 4 パターン CA_4 であるか否かを判断する。ここでは、対象パターンは第 1 パターン CA_1 であるので、ステップ 527 での判断は否定され、ステップ 539 に移行し、対象パターンを第 2 パターン CA_2 に変更し、ステップ 509 に戻る。

【0108】

ステップ 509 では、主制御装置 28 は、前記撮像データファイルから、各区画領域 $DA_{i,j}$ における第 2 パターン CA_2 の撮像データを抽出する。そして、

区画領域 $DA_{i,j}$ 毎に第2エリア $AREA2$ 内に含まれる全てのピクセルデータを加算してコントラストを求め、その加算結果を第1のコントラスト $K1_{i,j}$ とする。

【0109】

そして、主制御装置 28 は、前記第1パターン $CA1$ の場合と同様に、ステップ $511 \rightarrow 513 \rightarrow 515 \rightarrow 517 \rightarrow 519 \rightarrow 521 \rightarrow 523$ の処理、判断を繰り返す。これにより、第2パターン $CA2$ の第1のコントラスト $K1_{i,j}$ に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

【0110】

次に、ステップ 525 において、主制御装置 28 は、形成状態の検出に用いたコントラストが第1のコントラスト $K1_{i,j}$ であるか否かを判断し、第1のコントラスト $K1_{i,j}$ であれば、ステップ 525 での判断は肯定され、ステップ 531 に移行し、前記撮像データファイルから、各区画領域 $DA_{i,j}$ における第2パターン $CA2$ の撮像データを抽出する。そして、区画領域 $DA_{i,j}$ 毎に、図 14 に示されるように、前記第2エリア $AREA2$ の中央部に設定され前記第2エリア $AREA2$ の約4分の1の面積を有する第2サブエリア $AREA2a$ 内に含まれる全てのピクセルデータを加算してコントラストを求め、その加算結果を第2のコントラスト $K2_{i,j}$ とする。

【0111】

そして、主制御装置 28 は、ステップ 511 に戻り、前記第1のコントラスト $K1_{i,j}$ の代わりに第2のコントラスト $K2_{i,j}$ を用いて、前述と同様に、ステップ $511 \rightarrow 513 \rightarrow 515 \rightarrow 517 \rightarrow 519 \rightarrow 521 \rightarrow 523$ の処理、判断を繰り返す。これにより、第2パターン $CA2$ の第2のコントラスト $K2_{i,j}$ に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

【0112】

ステップ 527 において、主制御装置 28 は、第2パターン $CA2$ での処理が終了すると、ステップ 527 での判断は再度否定され、ステップ 539 において、対象パターンを第3パターン $CA3$ に変更し、ステップ 509 に戻る。

【0113】

ステップ 5 0 9 では、主制御装置 2 8 は、前記撮像データファイルから、各区画領域 $DA_{i,j}$ における第 3 パターン CA_3 の撮像データを抽出する。そして、区画領域 $DA_{i,j}$ 毎に第 3 エリア $AREA_3$ 内に含まれる全てのピクセルデータを加算してコントラストを求め、その加算結果を第 1 のコントラスト $K_{1,i,j}$ とする。

【0 1 1 4】

そして、主制御装置 2 8 は、前記第 1 パターン CA_1 の場合と同様に、ステップ 5 1 1 → 5 1 3 → 5 1 5 → 5 1 7 → 5 1 9 → 5 2 1 → 5 2 3 の処理、判断を繰り返す。これにより、第 3 パターン CA_3 の第 1 のコントラスト $K_{1,i,j}$ に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

【0 1 1 5】

次に、ステップ 5 2 5 において、主制御装置 2 8 は、形成状態の検出に用いたコントラストが第 1 のコントラスト $K_{1,i,j}$ であるか否かを判断し、第 1 のコントラスト $K_{1,i,j}$ であれば、ステップ 5 2 5 での判断は肯定され、ステップ 5 3 1 に移行し、前記撮像データファイルから、各区画領域 $DA_{i,j}$ における第 3 パターン CA_3 の撮像データを抽出する。そして、区画領域 $DA_{i,j}$ 毎に、図 1 4 に示されるように、前記第 3 エリア $AREA_3$ の中央部に設定され前記第 3 エリア $AREA_3$ の約 4 分の 1 の面積を有する第 3 サブエリア $AREA_{3a}$ 内に含まれる全てのピクセルデータを加算してコントラストを求め、その加算結果を第 2 のコントラスト $K_{2,i,j}$ とする。

【0 1 1 6】

そして、主制御装置 2 8 は、ステップ 5 1 1 に戻り、前記第 1 のコントラスト $K_{1,i,j}$ の代わりに第 2 のコントラスト $K_{2,i,j}$ を用いて、前述と同様に、ステップ 5 1 1 → 5 1 3 → 5 1 5 → 5 1 7 → 5 1 9 → 5 2 1 → 5 2 3 の処理、判断を繰り返す。これにより、第 3 パターン CA_3 の第 2 のコントラスト $K_{2,i,j}$ に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

【0 1 1 7】

ステップ 5 2 7 において、主制御装置 2 8 は、第 3 パターン CA_3 での処理が終了すると、ステップ 5 2 7 での判断は否定され、ステップ 5 3 9 において、対

象パターンを第4パターンCA4に変更し、ステップ509に戻る。

【0118】

ステップ509では、主制御装置28は、前記撮像データファイルから、各区画領域 $DA_{i,j}$ における第4パターンCA4の撮像データを抽出する。そして、区画領域 $DA_{i,j}$ 毎に第4エリアAREA4内に含まれる全てのピクセルデータを加算してコントラストを求め、その加算結果を第1のコントラスト $K1_{i,j}$ とする。

【0119】

そして、主制御装置28は、前記第1パターンCA1の場合と同様に、ステップ511→513→515→517→519→521→523の処理、判断を繰り返す。これにより、第4パターンCA4の第1のコントラスト $K1_{i,j}$ に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

【0120】

次に、主制御装置28は、ステップ525において、形成状態の検出に用いたコントラストが第1のコントラスト $K1_{i,j}$ であるか否かを判断し、第1のコントラスト $K1_{i,j}$ であれば、ステップ525での判断は肯定され、ステップ531に移行し、前記撮像データファイルから、各区画領域 $DA_{i,j}$ における第4パターンCA4の撮像データを抽出する。そして、区画領域 $DA_{i,j}$ 毎に、図14に示されるように、前記第4エリアAREA4の中央部に設定され前記第4エリアAREA4の約4分の1の面積を有する第4サブエリアAREA4a内に含まれる全てのピクセルデータを加算してコントラストを求め、その加算結果を第2のコントラスト $K2_{i,j}$ とする。

【0121】

そして、主制御装置28は、ステップ511に戻り、前記第1のコントラスト $K1_{i,j}$ の代わりに第2のコントラスト $K2_{i,j}$ を用いて、前述と同様に、ステップ511→513→515→517→519→521→523の処理、判断を繰り返す。これにより、第4パターンCA4の第2のコントラスト $K2_{i,j}$ に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

【0122】

主制御装置 28 は、ステップ 527 において、第 4 パターン C A 4 での処理が終了したと判断すると、ステップ 527 での判断は肯定され、ステップ 529 に移行し、全ての評価点对応領域 D B 1 ～ D B 5 について処理が終了したか否かを判断する。ここでは、評価点对応領域 D B 1 についての処理が終了してだけであるため、ステップ 529 での判断は肯定され、主制御装置 28 は、ステップ 501 に戻り、評価点对応領域 D B 2 がアライメント検出系 A S で検出可能となる位置に、ウエハ W_T を位置決めする。

【0123】

主制御装置 28 は、上述した評価点对応領域 D B 1 の場合と同様にして、第 1 パターン～第 4 パターンのそれぞれについて、第 1 のコントラスト及び第 2 のコントラストに基づいてそれぞれ最良フォーカス位置を求める。

【0124】

さらに、主制御装置 28 は、他の評価点对応領域 D B 3 ～ D B 5 について、前述した評価点对応領域 D B 1 の場合と同様にして、第 1 パターン～第 4 パターンのそれぞれについて、第 1 のコントラスト及び第 2 のコントラストに基づいてそれぞれ最良フォーカス位置を求める。

【0125】

なお、主制御装置 28 は、上記ステップ 519 において、前記近似曲線に極値なしと判断された場合には、ステップ 519 での判断は否定され、ステップ 533 に移行し、形成状態の検出に用いた閾値が第 2 の閾値 S 2 であるか否かを判断する。そして、形成状態の検出に用いた閾値が第 1 の閾値 S 1 である場合には、ステップ 533 での判断は否定され、ステップ 537 に移行して、第 2 の閾値 S 2 (≠第 1 の閾値 S 1) を用いて像の形成状態の検出を行う。なお、第 2 の閾値 S 2 は、第 1 の閾値 S 1 と同様に、予め設定されている値であり、オペレータが図示しない入出力装置を用いて変更することも可能である。このステップ 537 では、前述したステップ 511 と同様の手順で像の形成状態の検出が行われる。そして、主制御装置 28 は、このステップ 537 での像の形成状態の検出が終了すると、ステップ 513 に移行して、以後前記と同様の処理、判断を繰り返す。

【0126】

一方、上記ステップ533において、形成状態の検出に用いた閾値がすでに第2の閾値S2である場合には、ステップ533での判断は肯定され、主制御装置28は、ステップ535において、計測不可能であると判定して、その旨（計測不可能）の情報を検出結果として図示しない記憶装置に保存した後、ステップ525に進む。

【0127】

また、前述と反対に、上記ステップ515において、フォーカス位置とパターン残存数 T_i との関係において、山状のカーブが出ていないと判断された場合には、ステップ515での判断は否定され、主制御装置28は、ステップ533に進み、以後前記と同様の処理、判断を行う。

【0128】

このようにして、ウェハ W_T 上の全ての計測点对応領域DB1～DB5について最良フォーカス位置の算出又は計測不能の判定がなされると、ステップ529での判断は否定され、ステップ531に移行し、主制御装置28は、上記で求めた最良フォーカス位置データに基づいて他の光学特性を算出する。

【0129】

ステップ531では、主制御装置28は、評価点对応領域毎に、各パターンCA1～CA4の第2のコントラストから求めた最良フォーカス位置の平均値（単純平均値又は重み付け平均値）を算出し、投影光学系PLの視野内の各評価点の最良フォーカス位置とするとともに、該最良フォーカス位置の算出結果に基づいて、投影光学系PLの像面湾曲を算出する。

【0130】

また、主制御装置28は、第1パターンCA1の第2のコントラストから求めた最良フォーカス位置と、第2パターンCA2の第2のコントラストから求めた最良フォーカス位置とから非点収差を求めるとともに、第3パターンCA3の第2のコントラストから求めた最良フォーカス位置と、第4パターンCA4の第2のコントラストから求めた最良フォーカス位置とから非点収差を求める。そして、それらの非点収差の平均値から投影光学系PLの視野内の各評価点での非点収差を求める。

【0131】

さらに、主制御装置 28 は、投影光学系 PL の視野内の各評価点について、上述のようにして算出された非点収差に基づいて最小二乗法による近似処理を行うことにより非点収差面内均一性を求めるとともに、非点収差面内均一性と像面湾曲とから総合焦点差を求める。

【0132】

また、主制御装置 28 は、各パターン CA1～CA4 について、第 1 のコントラストから求めた最良フォーカス位置と、第 2 のコントラストから求めた最良フォーカス位置との差から投影光学系のコマ収差の影響を求めるとともに、パターンの周期方向とコマ収差の影響との関係を求める。

【0133】

このようにして求められた投影光学系の光学特性データは、図示しない記憶装置に保存されるとともに、不図示の表示装置の画面上に表示される。そして、主制御装置 28 は、図 5 のステップ 427 を終了し、一連の光学特性の計測処理を完了する。

【0134】

次に、デバイス製造の場合における、本実施形態の露光装置 100 による露光動作を説明する。

【0135】

前提として、上述のようにして決定された最良フォーカス位置の情報、あるいはこれに加えて像面湾曲の情報が、不図示の入出力装置を介して主制御装置 28 に入力されているものとする。

【0136】

例えば、像面湾曲の情報が入力されている場合には、主制御装置 28 は、露光に先立って、この光学特性データに基づいて、図示しない結像特性補正コントローラに指示し、例えば投影光学系 PL の少なくとも 1 つの光学素子（本実施形態では、レンズエレメント）の位置（他の光学素子との間隔を含む）あるいは傾斜などを変更することにより、その像面湾曲が補正されるように投影光学系 PL の結像特性を可能な範囲で補正する。なお、投影光学系 PL の結像特性の調整に用

いる光学素子は、レンズエレメントなどの屈折光学素子だけでなく、例えば凹面鏡などの反射光学素子、あるいは投影光学系 P L の収差（ディストーション、球面収差など）、特にその非回転対称成分を補正する収差補正板などでも良い。さらに、投影光学系 P L の結像特性の補正方法は光学素子の移動に限られるものではなく、例えば露光光源を制御して照明光 I L の中心波長を僅かにシフトさせる方法、又は投影光学系 P L の一部で屈折率を変化させる方法などを単独、あるいは光学素子の移動との組み合わせで採用しても良い。

【0 1 3 7】

そして、主制御装置 2 8 は、不図示のレチクルローダに指示し、転写したいパターンが形成されたレチクル R をレチクルステージ R S T 上にロードする。同様に、不図示のウエハローダにより、露光したいウエハ W をウエハテーブル 1 8 上にロードする。

【0 1 3 8】

次に、主制御装置 2 8 により、不図示のレチクルアライメント顕微鏡、ウエハテーブル 1 8 上の基準マーク板 F P、アラインメント検出系 A S 等を用いて、レチクルアラインメント、アラインメント検出系のベースライン計測及び E G A（エンハンスド・グローバル・アラインメント）等のウエハアライメント等の準備作業が所定の手順に従って行われる。

【0 1 3 9】

この露光動作にあたって、まず、ウエハ W の X Y 位置が、ウエハ W 上の最初のショット領域（ファーストショット）の露光のための位置となるように、ウエハテーブル 1 8 が移動される。この移動は、主制御装置 2 8 により、レーザ干渉計 2 6 によって計測されたウエハ W の X Y 位置情報（又は速度情報）に基づき、駆動系 2 2 等を介して行われる。

【0 1 4 0】

このようにして、ウエハ W が所定の露光位置に移動すると、主制御装置 2 8 は、フォーカスセンサ A F S によって検出されたウエハ W の Z 軸方向の位置情報に基づき、前述した光学特性補正後の投影光学系 P L の像面の焦点深度の範囲内にウエハ W 表面の露光対象のショット領域が収まるように、駆動系 2 2 を介してウ

エハテーブル 18 を Z 軸方向及び傾斜方向に駆動して面位置の調整を行う。そして、主制御装置 28 は、前述した露光を行う。

【0141】

このようにしてファーストショット領域に対する露光、すなわちレチクルパターンの転写が終了すると、ウエハテーブル 18 が 1 ショット領域分だけステップングされて、前ショット領域と同様に露光が行われる。

【0142】

以後、このようにして、ステップングと露光とが順次繰り返され、ウエハ W 上に必要なショット数のパターンが転写される。

【0143】

以上説明したように、本実施形態に係る光学特性計測方法によると、像の転写領域のコントラストと所定の閾値とを比較することにより、像の形成状態を検出するという、画像処理手法を用いているために、従来の目視により寸法を計測する方法（例えば、前述した CD/フォーカス法など）と比較して、像の形成状態を検出するのに要する時間を短縮することが可能となる。

【0144】

また、画像処理という客観的かつ定量的な検出手法を用いているため、従来の寸法を計測する方法と比較して、パターン像の形成状態を精度良く検出することができる。そして、客観的かつ定量的に求められた形成状態の検出結果に基づいて、最良フォーカス位置を決定しているため、短時間で精度良く最良フォーカス位置を求めることが可能となる。従って、この最良フォーカス位置に基づいて決定される光学特性の測定精度及び測定結果の再現性を向上させることができるとともに、結果的に光学特性計測のスループットを向上させることが可能となる。

【0145】

また、従来の寸法を計測する方法（例えば、前述した CD/フォーカス法や S MP フォーカス計測法など）に比べて、計測用パターンを小さくすることができるため、レチクルのパターン領域 PA 内に多くの計測用パターンを配置することが可能となる。従って、評価点の数を増加させることができるとともに、各評価点間の間隔を狭くすることができ、結果的に光学特性計測の測定精度を向上させ

ることが可能となる。

【0146】

また、本実施形態では、計測用パターンの像の転写領域のコントラストと所定の閾値とを比較することにより、計測用パターンの像の形成状態を検出しているために、レチクル R_T のパターン領域 PA 内に計測用パターン以外のパターン（例えば、比較用の基準パターンや、位置決め用マークパターン等）を配置する必要がなく、従って、評価点の数を増加させることができるとともに、各評価点間の間隔を狭くすることが可能となる。これにより、結果的に、光学特性の測定精度及び測定結果の再現性を向上させることができる。

【0147】

本実施形態に係る光学特性計測方法によると、統計処理による近似曲線の算出という客観的、かつ確実な方法を基礎として最良フォーカス位置を算出しているので、安定して高精度かつ確実に光学特性を計測することができる。なお、近似曲線の次数によっては、その変曲点、あるいはその近似曲線と所定のスライスレベルとの複数の交点等に基づいて最良フォーカス位置を算出することは可能である。

【0148】

また、本実施形態に係る露光方法によると、上述のようにして決定された最良フォーカス位置を考慮して露光の際のフォーカス制御目標値の設定が行われるので、デフォーカスによる色むらの発生を効果的に抑制して、微細パターンをウエハ上に高精度に転写することが可能となる。

【0149】

さらに、本実施形態では、第1のコントラストは、パターンの像が転写されている転写エリア全体のピクセルデータの加算値であるために、 S/N 比が高く、像の形成状態と露光条件との関係を精度良く求めることができる。

【0150】

また、本実施形態では、第2のコントラストは、 L/S パターンの像が転写されている転写エリアのピクセルデータから、 L/S パターンを構成するラインパターンの両端に位置するラインパターンのピクセルデータを除外しているために

、像の形成状態の検出結果に対する投影光学系のコマ収差の影響を除くことができ、光学特性を精度良く求めることが可能となる。

【0 1 5 1】

しかも、第1のコントラストに基づく最良フォーカス位置と第2のコントラストに基づく最良フォーカス位置との差から、投影光学系の光学特性の一つであるコマ収差の影響を抽出することができる。

【0 1 5 2】

なお、上記実施形態では、レチクルR_T上の計測用パターン200は、周期方向のみが異なる4種類のL/Sパターンであるものとしたが、本発明がこれに限定されないことは言うまでもない。少なくとも、いずれか1種類のL/Sパターンであっても良く、また、孤立線やコンタクトホールなどを用いても良い。計測用パターンとしてL/Sパターンを用いる場合には、デューティ比及び周期方向は、任意で良い。また、計測用パターンとして周期パターンを用いる場合、その周期パターンは、L/Sパターンだけではなく、例えばドットマークを周期的に配列したパターンでも良い。これは、像の線幅等を計測する従来の方法とは異なり、像の形成状態をコントラストで検出しているからである。

【0 1 5 3】

また、上記実施形態では、2種類のコントラスト（第1のコントラストと第2のコントラスト）でそれぞれ最良フォーカス位置を求めているが、いずれか一方のコントラストで最良フォーカス位置を求めても良い。

【0 1 5 4】

さらに、上記実施形態では、パターンが形成されている部分のピクセルデータはパターンが形成されていない部分よりも大きいものとしているが、これに限定されるものではない。また、上記実施形態では、ピクセルデータの加算値からコントラストを求めているが、これに限定されず、例えばピクセルデータの分散を算出し、その算出結果をコントラストとしても良い。そして、例えばパターンの残らないところのピクセルデータを基準とし、それに対してコントラストが黒に偏っている場合あるいは白に偏っている場合を、パターンが形成されていると判断することも可能である。

【0155】

また、上記実施形態では、ピクセルデータを抽出するエリアを矩形としているが、これに限定されるものではなく、例えば、円形や楕円形、あるいは三角形などであっても良い。また、その大きさも任意に設定することができる。すなわち、計測用パターンの形状に合わせて抽出エリアを設定することによりノイズを減少させ、 S/N 比を高くすることが可能である。

【0156】

また、上記実施形態では、像の形成状態の検出に2種類の閾値を用いているが、これに限定されるものではなく、少なくとも1つの閾値であれば良い。

【0157】

さらに、上記実施形態では、第1の閾値での検出結果から最良フォーカス位置が算出困難な場合にのみ、第2の閾値での形成状態の検出を行い、その検出結果から最良フォーカス位置を求めているが、予め複数の閾値 S_m を設定しておき、各閾値 S_m 毎に最良フォーカス位置 Z_m を求め、それらの平均値（単純平均値あるいは重み付け平均値）を最良フォーカス位置 Z_{best} としても良い。図15には、一例として、5種類の閾値 $S_1 \sim S_5$ を用いた検出結果に基づく、露光エネルギー量 P とフォーカス位置 Z との関係が簡略化して示されている。これにより、各閾値に応じて、露光エネルギー量 P が極値を示すときのフォーカス位置が順次算出される。そして、各フォーカス位置の平均値を最良フォーカス位置 Z_{best} とする。なお、露光エネルギー量 P とフォーカス位置 Z との関係を示す近似曲線と適当なスライスレベル（露光エネルギー量）との2つの交点（フォーカス位置）を求め、両交点の平均値を、各閾値毎に算出し、それらの平均値（単純平均値あるいは重み付け平均値）を最良フォーカス位置 Z_{best} としても良い。

【0158】

あるいは、各閾値 S_m 毎に最良フォーカス位置 Z_m を算出し、図16に示されるように、閾値 S_m と最良フォーカス位置 Z_m との関係において、閾値 S_m の変動に対して、最良フォーカス位置 Z_m の変化が最も小さい区間における最良フォーカス位置 Z_m の平均値（図16では、 Z_2 と Z_3 の単純平均値あるいは重み付け平均値）を最良フォーカス位置 Z_{best} としても良い。

【0159】

また、本実施形態では、予め設定されている値を閾値として用いているが、これに限定されるものではない。例えば、ウエハ W_T 上の計測用パターンが転写されていない領域を撮像し、得られたコントラストを閾値としても良い。

【0160】

なお、上記実施形態の露光装置100では、主制御装置28が、図示しない記憶装置に格納されている処理プログラムに従って、前述した投影光学系の光学特性の計測を行うことにより、計測処理の自動化を実現することができる。勿論、この処理プログラムは、他の情報記録媒体（CD-ROM、MO等）に保存されていても良い。さらに、計測を行う時に、図示しないサーバから処理プログラムをダウンロードしても良い。また、計測結果を、図示しないサーバに送付したり、インターネットやイントラネットを介して電子メール及びファイル転送等により、外部に通知することも可能である。

【0161】

また、上記実施形態と同様の処理を行う際に、露光エネルギー量 P とフォーカス位置 Z との関係において、図17に示されるように、極値が複数含まれる場合がある。このような場合、最大の極値を有する曲線Aのみに基づいて、最良フォーカス位置を算出するようにしても良いが、小さい極値を有する曲線B、Cも必要な情報を含む場合があるため、これを無視することなく、曲線B、Cをも用いて最良フォーカス位置を算出することが望ましい。例えば、曲線B、Cの極値に対応するフォーカス位置の平均値と、曲線Aの極値に対応するフォーカス位置との平均値（単純平均値あるいは重み付け平均値）を最良フォーカス位置とするなどである。

【0162】

なお、上記各実施形態では、計測用パターンをウエハ W_T 上の各区画領域 $DA_{i,j}$ に転写した後、現像後にウエハ W_T 上の各区画領域 $DA_{i,j}$ に形成されるレジスト像をFIA系のアライメント検出系ASによって撮像し、その撮像データに対して画像処理を行う場合について説明したが、本発明に係る光学特性の計測方法はこれに限定されるものではない。例えば、撮像の対象は、露光の際にレジスト

に形成された潜像であっても良く、また、撮像装置として露光装置外に設けられた専用の撮像装置（例えば光学顕微鏡など）を用いても良い。また、撮像装置としてLSA系のアライメント検出系ASを用いることも可能である。転写像のコントラスト情報が得られれば良いからである。さらに、オペレータなどが介在することなく、前述の計測結果（最良フォーカス位置など）に基づいて投影光学系PLの光学特性を調整することができる。すなわち、露光装置に自動調整機能を持たせることが可能となる。

【0163】

また、上記実施形態では、パターンの転写の際に変更される露光条件が、投影光学系の光軸方向に関するウエハ W_T の位置及びウエハ W_T の面上に照射されるエネルギービームのエネルギー量（露光ドーズ量）である場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではない。例えば、照明条件（マスクの種別を含む）、投影光学系の結像特性など露光に関連する全ての構成部分の設定条件などの何れかであれば良く、また、必ずしも2種類の露光条件を変更しながら露光を行う必要もない。すなわち、一種類の露光条件、例えば投影光学系の光軸方向に関するウエハ W_T の位置のみを変更しながら、計測用マスクのパターンを基板上の複数の領域に転写し、その転写像の形成状態を検出する場合であっても、コントラスト計測により、その検出を迅速に行うことができるという効果がある。例えば、エネルギー量のかわりに、ラインパターンの線幅、もしくはコンタクトホール pitch 等の変化によって投影光学系の光学特性を計測することができる。

【0164】

また、上記実施形態において、最良フォーカス位置とともに最良露光量を決定することができる。すなわち、露光エネルギー量を低エネルギー量側にも設定して、上記実施形態と同様の処理を行い、露光エネルギー量毎に、その像が検出されたフォーカス位置の幅を求め、該幅が最大となるときの露光エネルギー量を算出し、その場合の露光量を最良露光量とする。

【0165】

また、基板上的の評価点对応領域を、上記実施形態の如く、マトリックス状の区画領域に分割することは必ずしも必要ではない。すなわち、基板上的のいずれの位

置にパターンの転写像が転写されていても、その撮像データを用いてコントラストを求めることは十分に可能だからである。すなわち、撮像データファイルが作成できれば良いからである。

【0166】

なお、本実施形態では、各パターンの線幅がすべて同一の場合について説明しているが、これに限定されるものではなく、異なる線幅を有するパターンが含まれていても良い。これにより、光学特性に及ぼす線幅の影響を求めることができる。

【0167】

さらに、本実施形態では、結像特性補正コントローラを介して投影光学系 PL の結像特性を調整するものとしたが、例えば、結像特性補正コントローラだけでは結像特性を所定の許容範囲内に制御することができないときなどは、投影光学系 PL の少なくとも一部を交換しても良いし、あるいは投影光学系 PL の少なくとも 1 つの光学素子を再加工（非球面加工など）しても良い。また、特に光学素子がレンズエレメントであるときはその偏芯を変更したり、あるいは光軸を中心として回転させても良い。このとき、露光装置 100 のアライメントセンサを用いてレジスト像などを検出する場合、主制御装置 28 はディスプレイ（モニター）への警告表示、あるいはインターネット又は携帯電話などによって、オペレータなどにアシストの必要性を通知しても良いし、投影光学系 PL の交換箇所や再加工すべき光学素子など、投影光学系 PL の調整に必要な情報を一緒に通知すると良い。これにより、光学特性の計測などの作業時間だけでなく、その準備期間も短縮でき、露光装置の停止期間の短縮、すなわち稼働率の向上を図ることが可能となる。

【0168】

さらに、本発明が適用される露光装置の光源は、KrF エキシマレーザや ArF エキシマレーザに限らず、F₂レーザ（波長 157 nm）、あるいは他の真空紫外域のパルスレーザ光源であっても良い。この他、露光用照明光として、例えば、DFB 半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（又はエルビウムとイッテルビウム

の両方) がドーピングされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。また、紫外域の輝線 (g 線、i 線等) を出力する超高圧水銀ランプ等を用いても良い。この場合には、ランプ出力制御、ND フィルタ等の減光フィルタ、光量絞等によって露光エネルギーの調整を行えば良い。

【0169】

なお、上記実施形態では、本発明がステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置に適用された場合について説明したが、本発明の適用範囲がこれに限定されないのは勿論である。すなわち、ステップ・アンド・スキャン方式、ステップ・アンド・ステッチ方式、ミラープロジェクション・アライナー、及びフォトリピータなどにも好適に適用することができる。さらに、投影光学系 PL は、屈折系、反射屈折系、及び反射系のいずれでもよいし、縮小系、等倍系、及び拡大系のいずれでも良い。

【0170】

例えば、走査型露光装置の場合、非走査方向に細長い矩形又は円弧状のスリット状の照明領域が形成されるが、この照明領域に対応する投影光学系のイメージフィールド内の領域の内部に評価点を配置することにより、上記実施形態と全く同様にして、最良フォーカス位置や像面湾曲等の投影光学系 PL の光学特性、及び最良露光量などを求めることができる。また、パルス光源を用いた走査型露光装置の場合、パルス光源から像面に照射される 1 パルス当たりのエネルギー量、パルス繰り返し周波数、照明領域の走査方向の幅 (いわゆるスリット幅)、及び走査速度の少なくとも 1 つを調整することにより、像面における露光ドーズ量 (露光エネルギー量、積算露光量) を所望の値に調整することが可能である。

【0171】

さらに、本発明は、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子、プラズマディスプレイなどを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、撮像素子 (CCD など)、マイクロマシン、及び DNA チップなどの製造、さら

にはマスク又はレチクルの製造に用いられる露光装置などにも適用することができる。

【0172】

《デバイス製造方法》

次に、上記説明した露光装置及び方法を使用したデバイスの製造方法の実施形態を説明する。

【0173】

図18には、デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、DNAチップ、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートが示されている。図18に示されるように、まず、ステップ301（設計ステップ）において、デバイスの機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ302（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ303（ウエハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

【0174】

次に、ステップ304（ウエハ処理ステップ）において、ステップ301～ステップ303で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ305（デバイス組立ステップ）において、ステップ304で処理されたウエハを用いてデバイス組立を行う。このステップ305には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に応じて含まれる。

【0175】

最後に、ステップ306（検査ステップ）において、ステップ305で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

【0176】

図19には、半導体デバイスの場合における、上記ステップ304の詳細なフ

ロー例が示されている。図 19 において、ステップ 311 (酸化ステップ) においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ 312 (CVD ステップ) においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ 313 (電極形成ステップ) においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ 314 (イオン打込みステップ) においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ 311 ~ ステップ 314 それぞれは、ウエハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

【0177】

ウエハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ 315 (レジスト形成ステップ) において、ウエハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ 316 (露光ステップ) において、上記各実施形態の露光装置及び露光方法によってマスクの回路パターンをウエハに転写する。次に、ステップ 317 (現像ステップ) においては露光されたウエハを現像し、ステップ 318 (エッチングステップ) において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ 319 (レジスト除去ステップ) において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

【0178】

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0179】

以上のような、本実施形態のデバイス製造方法を用いれば、露光ステップで、上記実施形態の露光装置及び露光方法が用いられるので、前述した光学特性計測方法で精度良く求められた光学特性を考慮して調整された投影光学系を介して高精度な露光が行われ、高集積度のデバイスを生産性良く製造することが可能となる。

【0180】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明に係る光学特性計測方法によれば、短時間で、精

度及び再現性良く投影光学系の光学特性を求めることができるという効果がある。

【0181】

また、本発明に係る露光方法によれば、高精度な露光を実現できるという効果がある。

【0182】

また、本発明に係るデバイス製造方法によれば、高集積度のデバイスを製造することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の一実施形態の露光装置の概略構成を示す図である。

【図2】

図1の照明系IOPの具体的構成の一例を説明するための図である。

【図3】

投影光学系の光学特性の計測に用いられるレチクルの一例を示す図である。

【図4】

投影光学系の光学特性の計測に用いられるレチクルパターンを説明するための図である。

【図5】

光学特性の計測方法を説明するためのフローチャートである。

【図6】

区画領域の配列を説明するための図である。

【図7】

ウエハ W_T 上の区画領域の配置を示す図である。

【図8】

図5のステップ427（光学特性の算出処理）の詳細を説明するためのフローチャートである。

【図9】

各区画領域における各パターンの撮像データ領域を説明するための図である。

【図 10】

検出結果の一例をテーブルデータ形式で示す図である。

【図 11】

パターン残存数とフォーカス位置との関係を示す図である。

【図 12】

各区画領域における各パターンの撮像データ領域（サブ領域）を説明するための図である。

【図 13】

露光エネルギー量とフォーカス位置との関係を示す図である（第 1 段階の近似曲線）。

【図 14】

露光エネルギー量とフォーカス位置との関係を示す図である（第 2 段階の近似曲線）。

【図 15】

複数の閾値における、露光エネルギー量とフォーカス位置との関係を示す図である。

【図 16】

閾値とフォーカス位置との関係を示す図である。

【図 17】

山形が複数含まれるような図形（偽解像を含む図形）の一例を示す図である。

【図 18】

本発明に係るデバイス製造方法の実施形態を説明するためのフローチャートである。

【図 19】

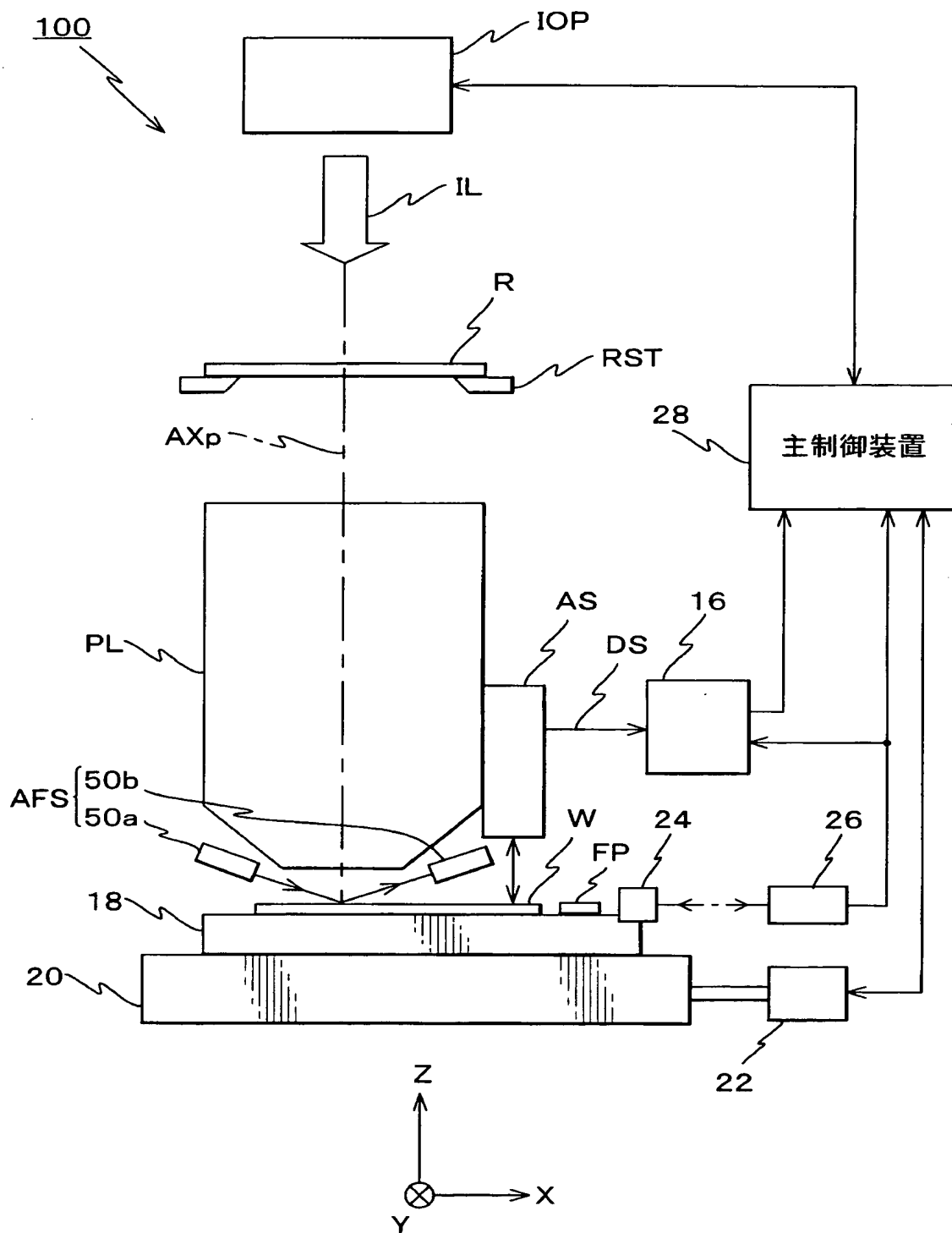
図 18 のステップ 304 における処理のフローチャートである。

【符号の説明】

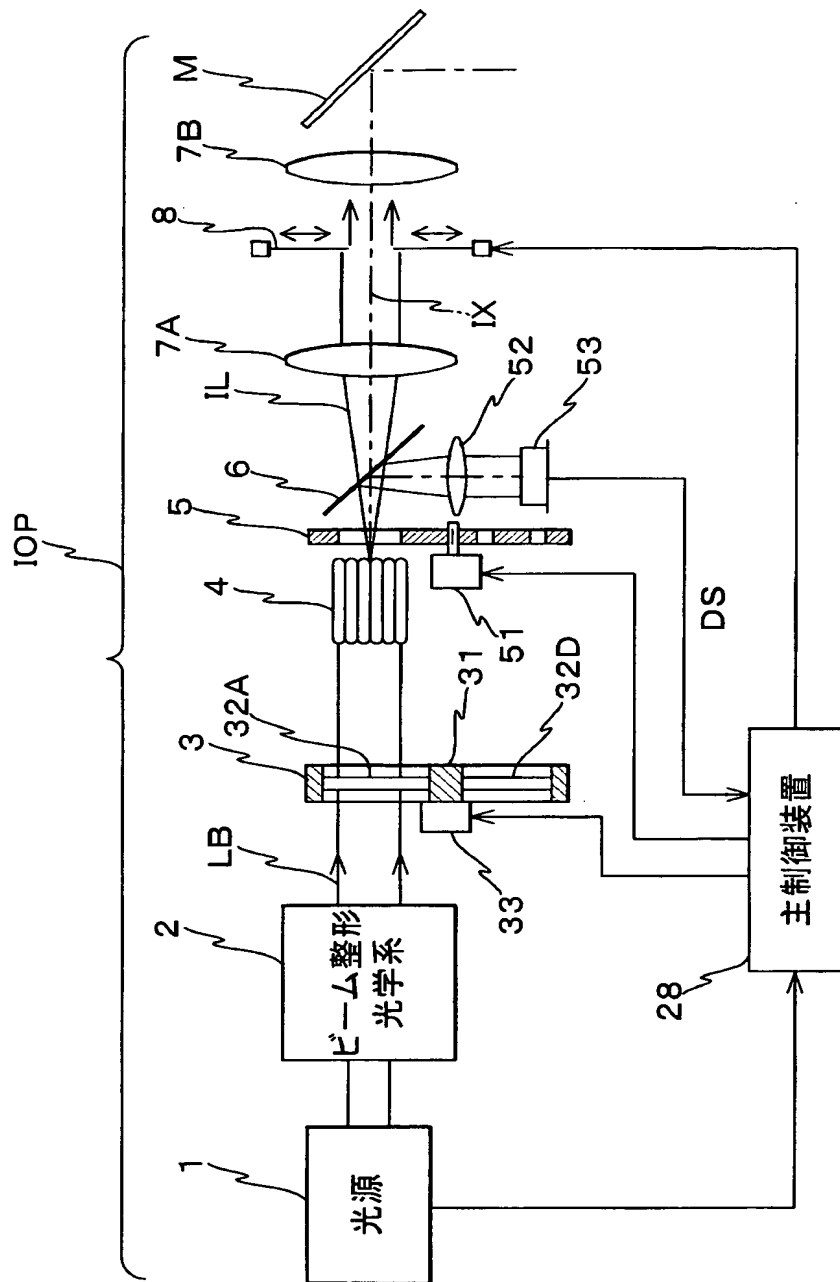
200…計測用パターン、IL…エネルギービーム、PL…投影光学系、R…レチクル（マスク）、RT…レチクル（テスト用マスク）、W…ウエハ（基板）、WT…ウエハ（テスト用基板）。

【書類名】 図面

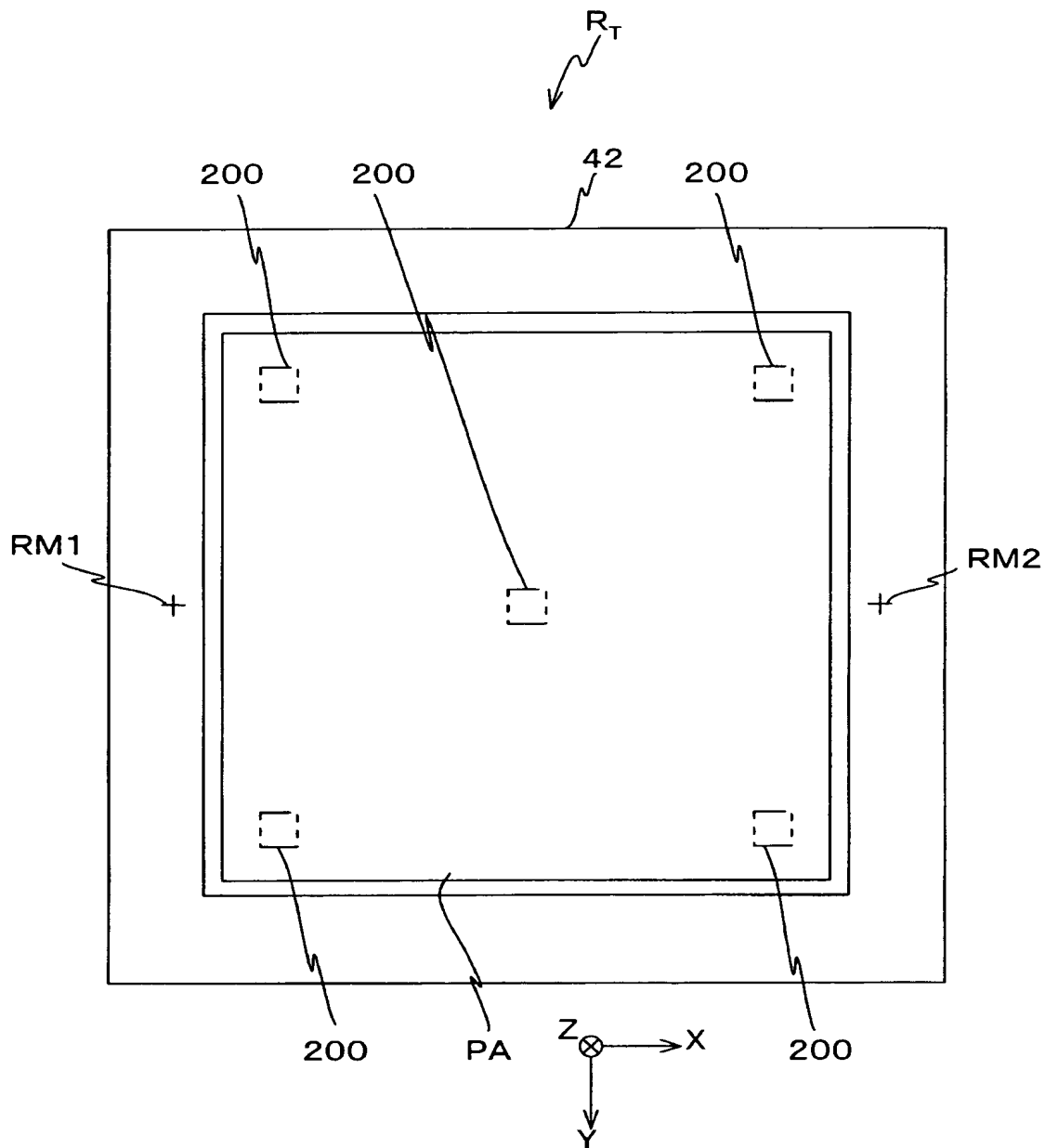
【図 1】



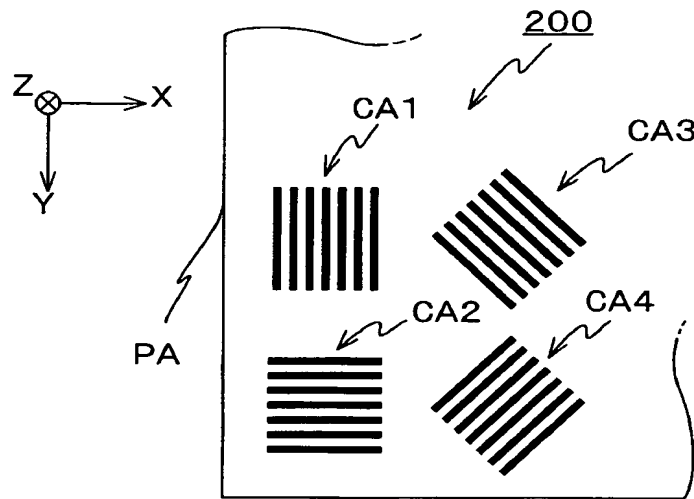
【図 2】



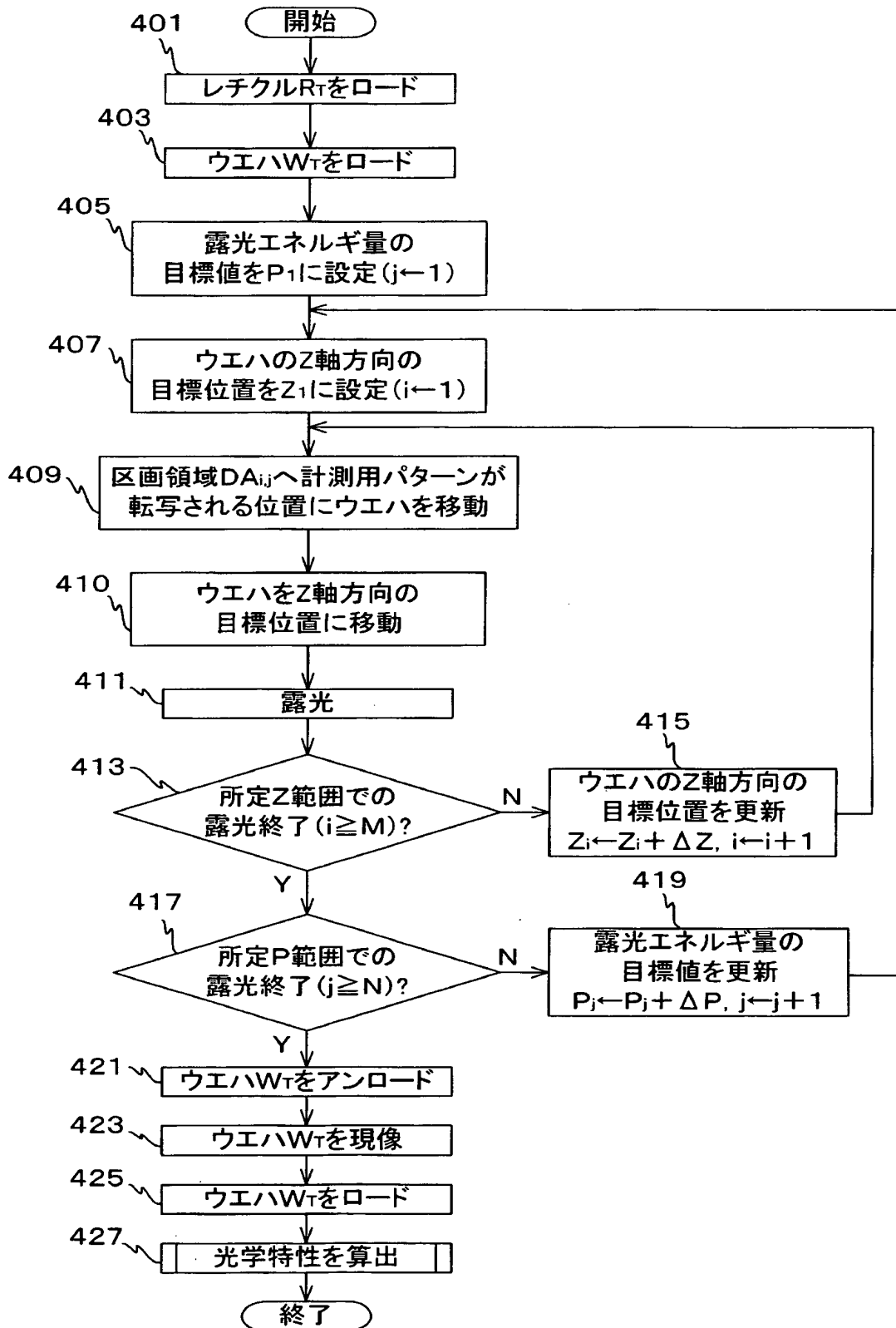
【図 3】



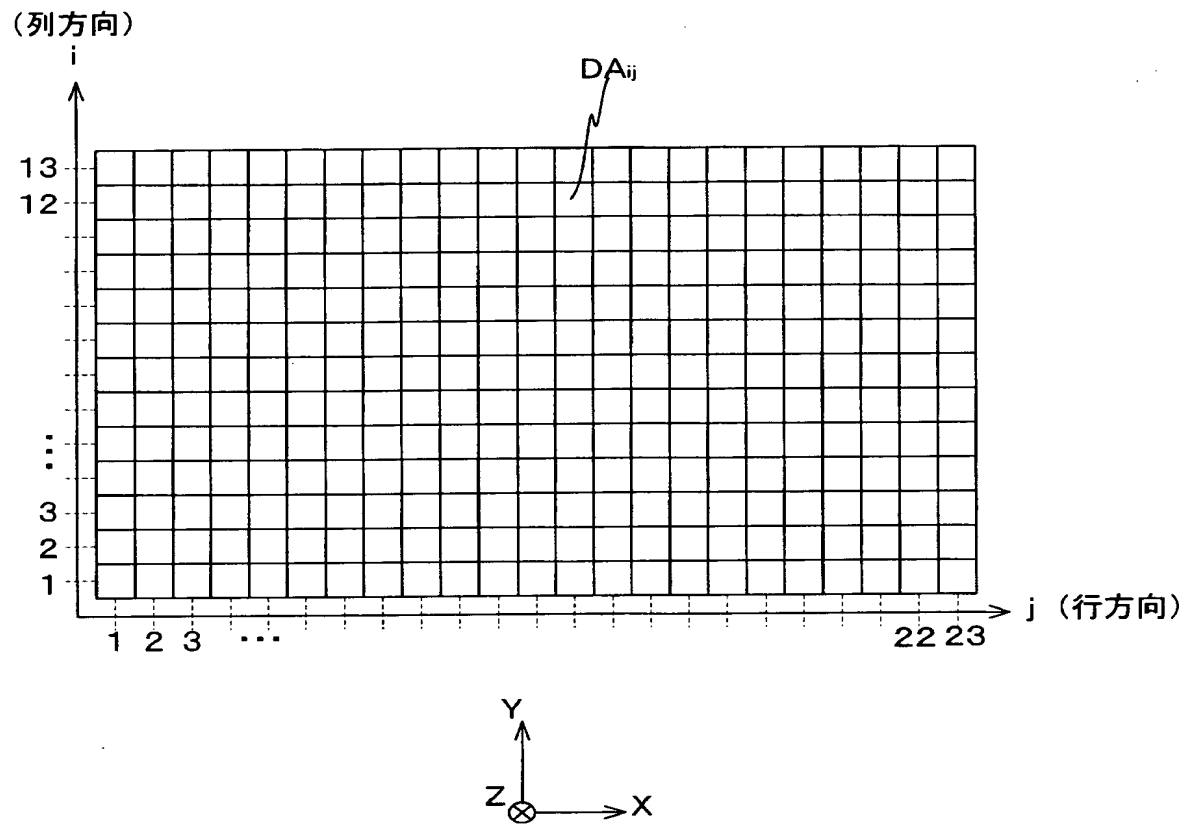
【図 4】



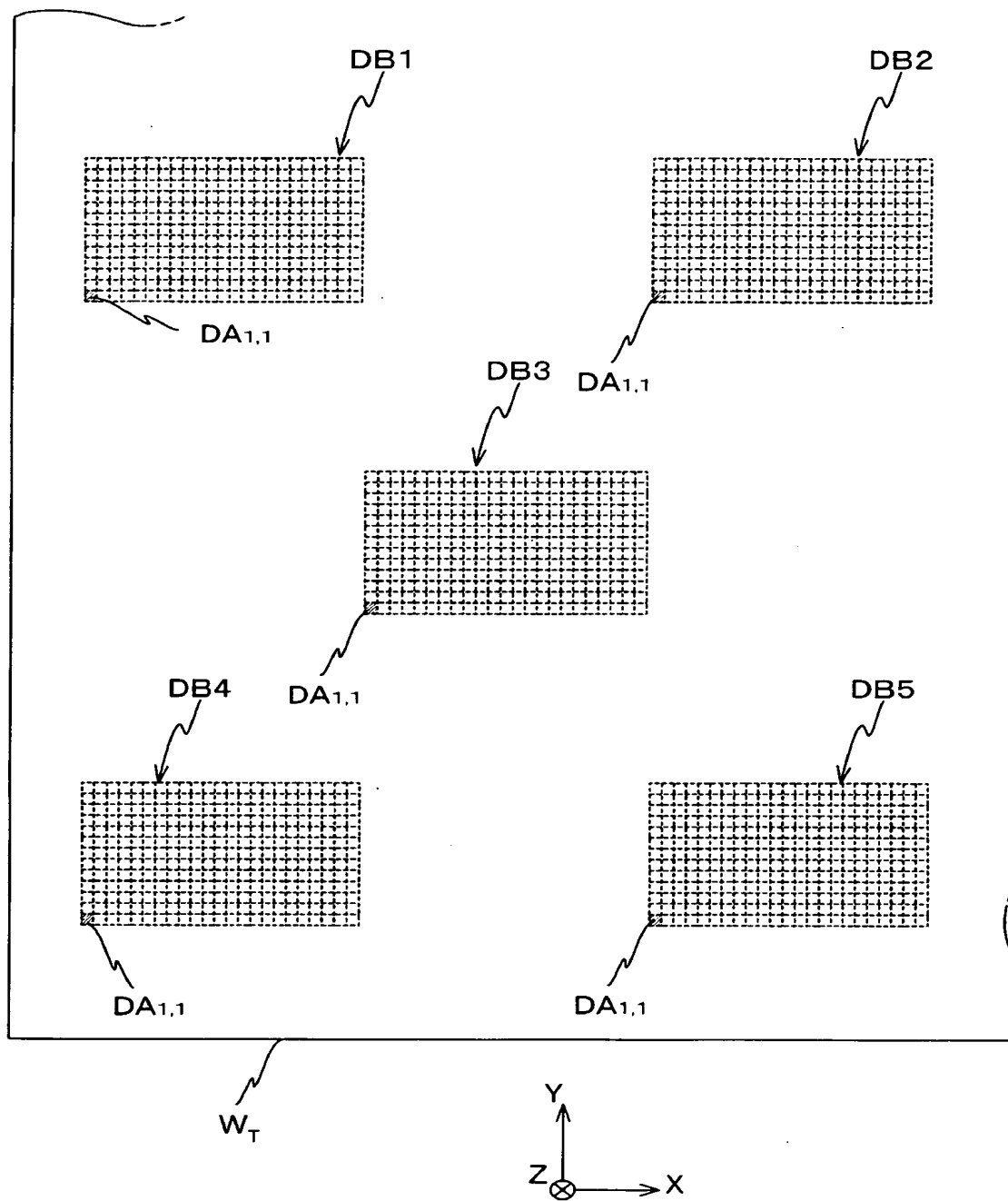
【図 5】



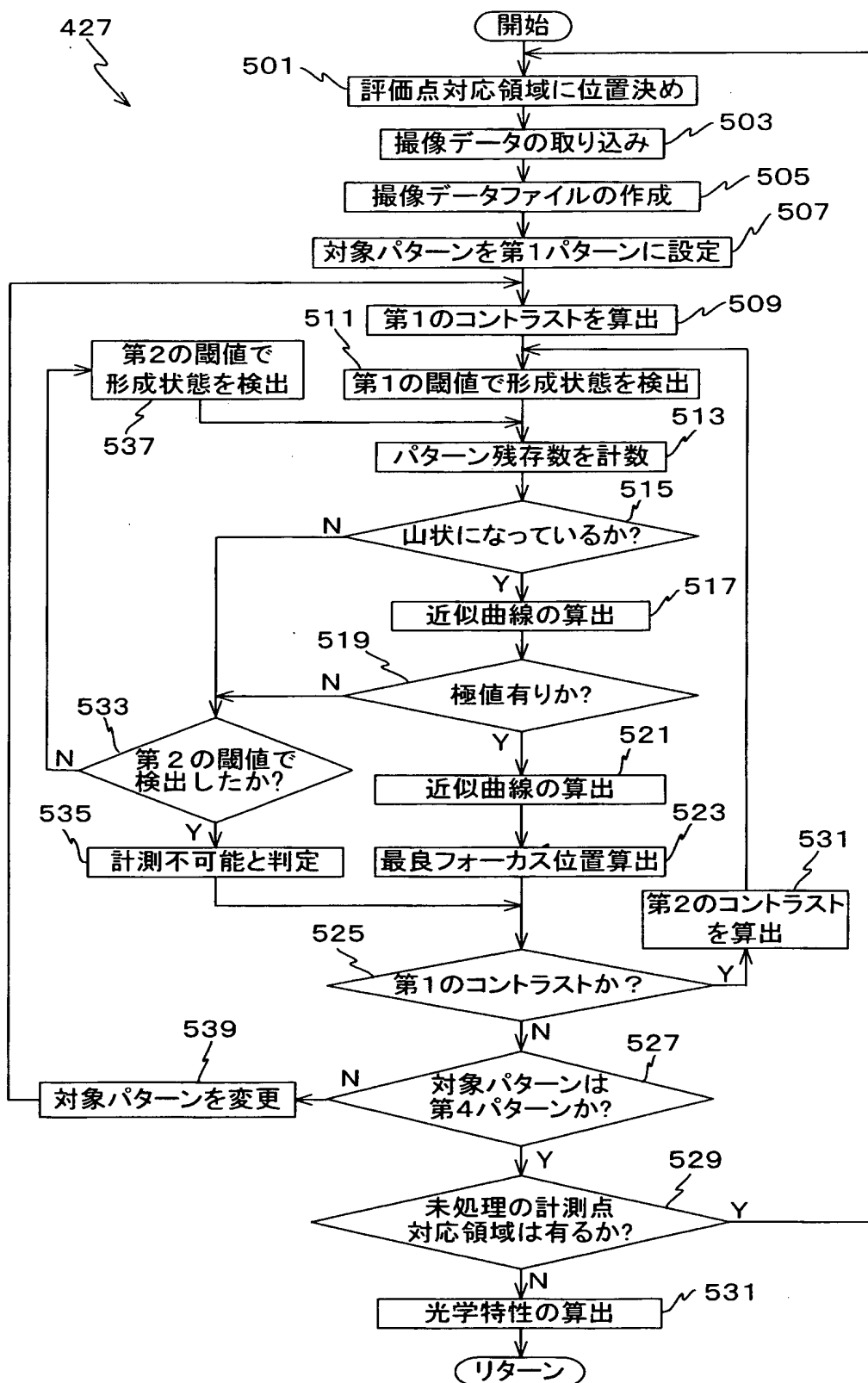
【図 6】



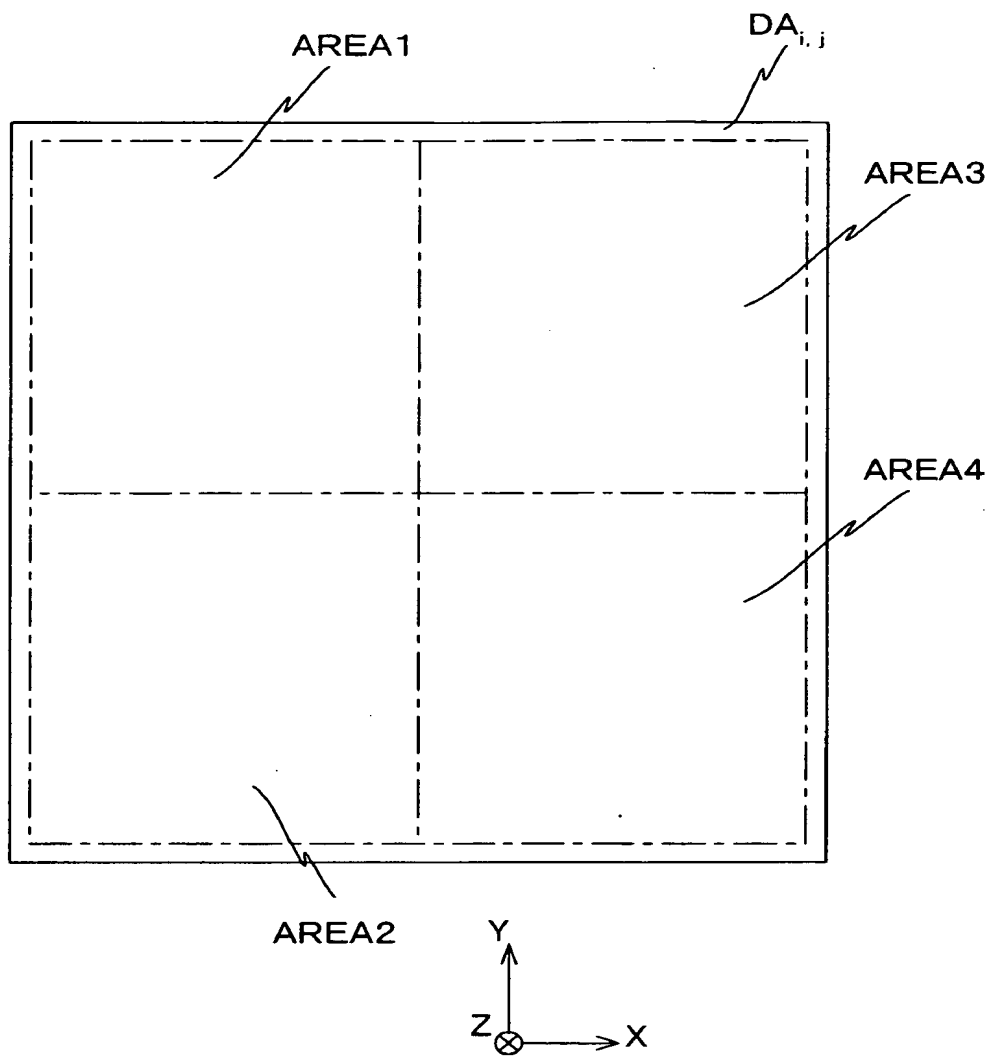
【図 7】



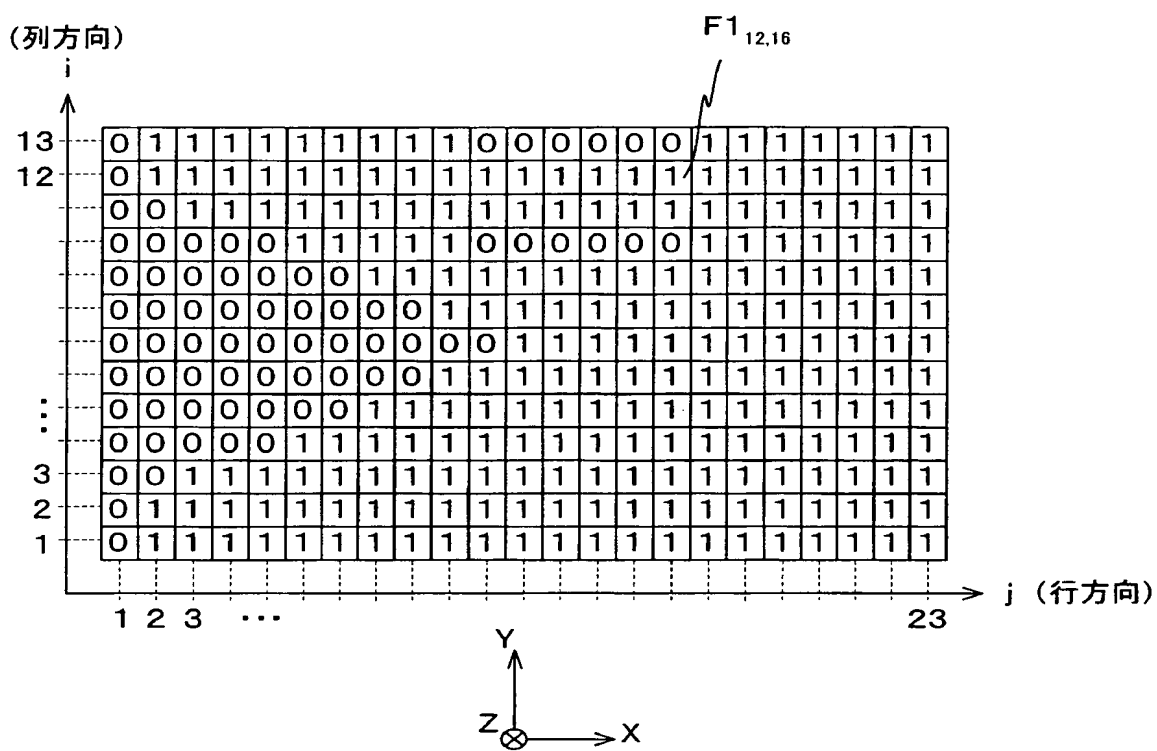
【図8】



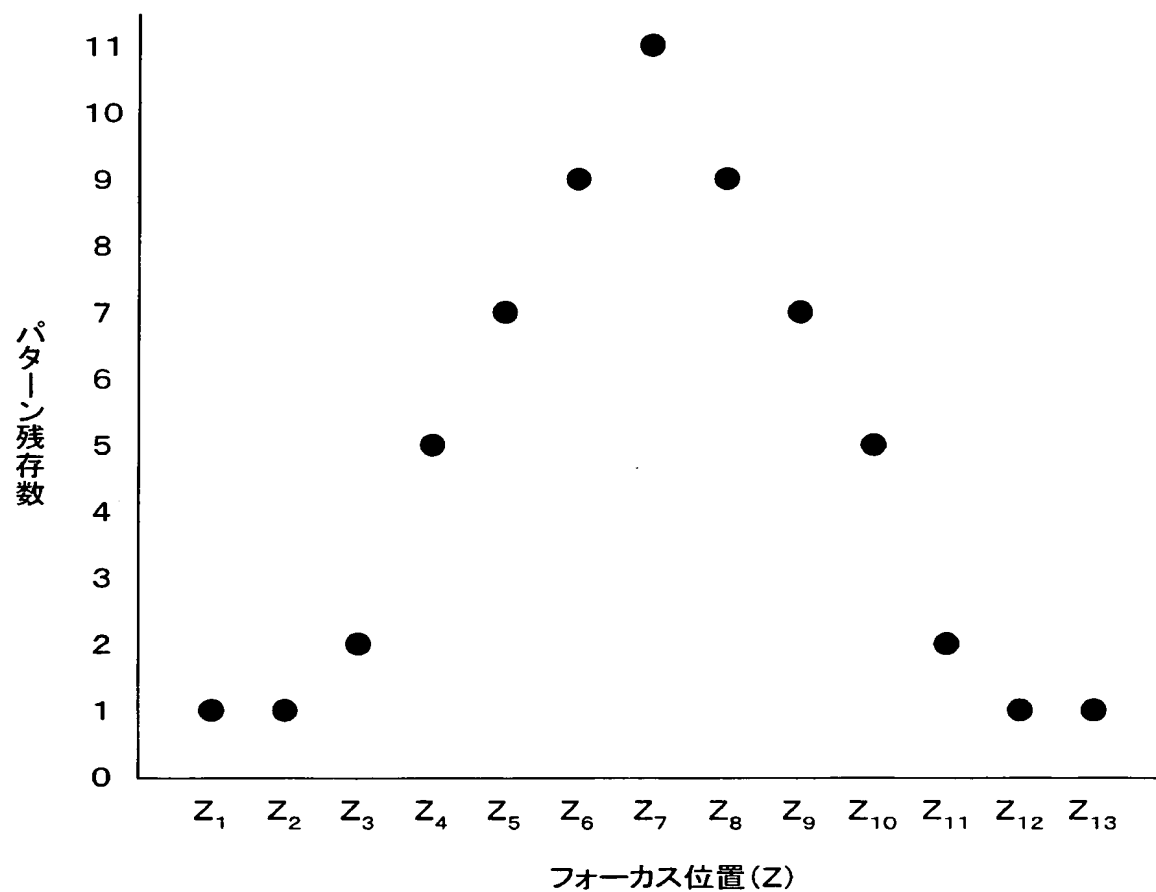
【図 9】



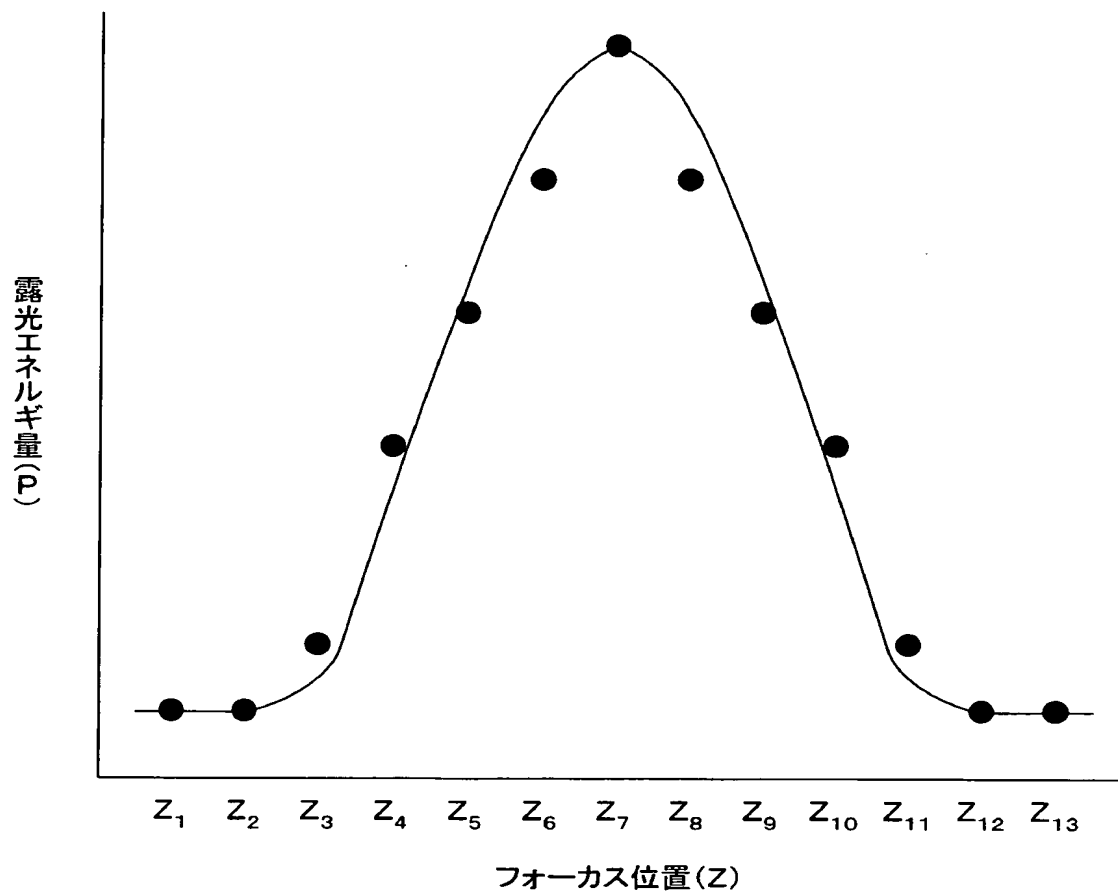
【図 10】



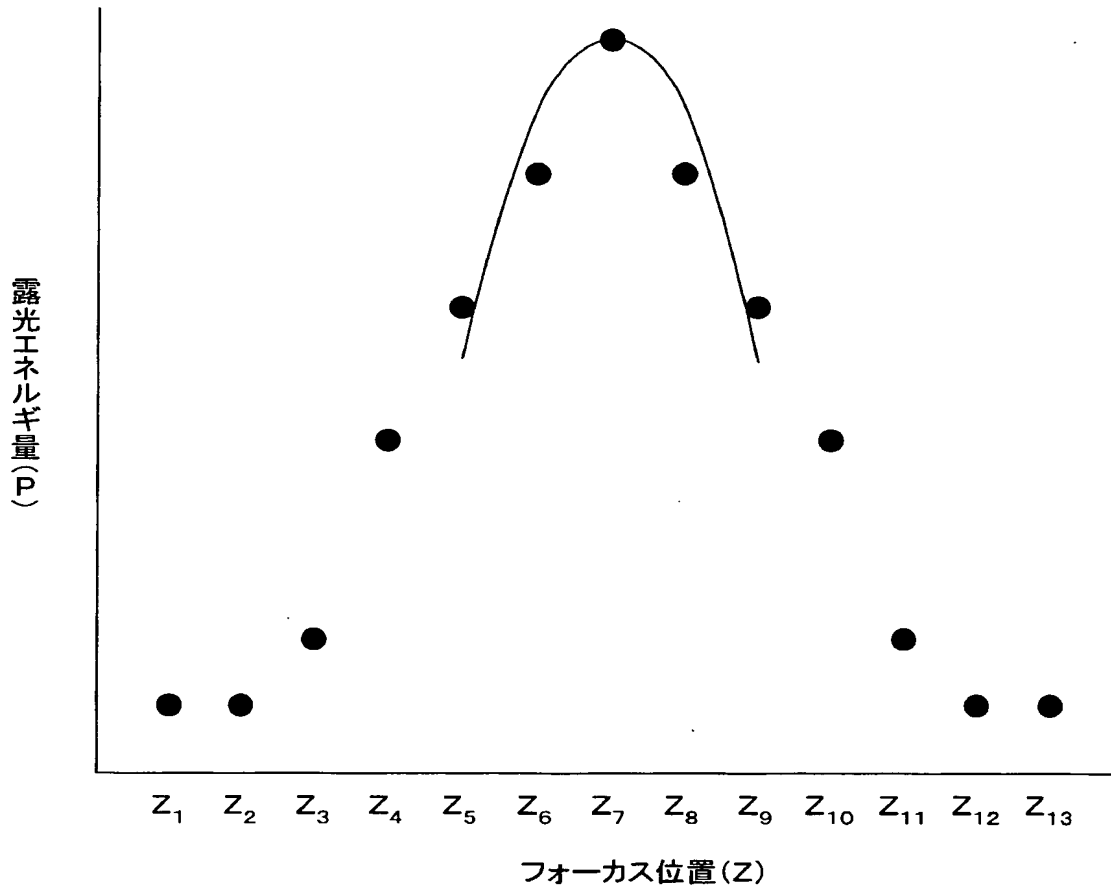
【図 11】



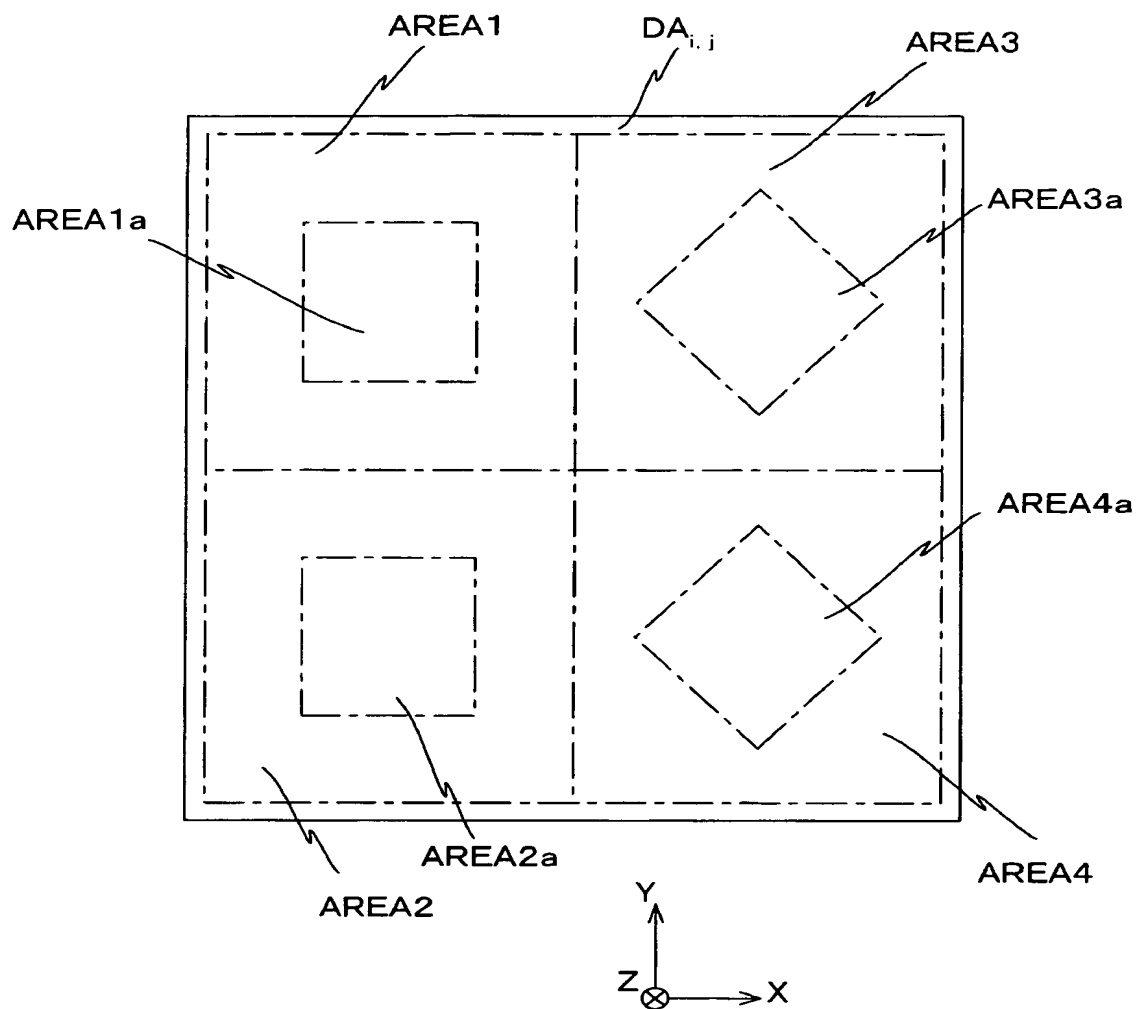
【図 12】



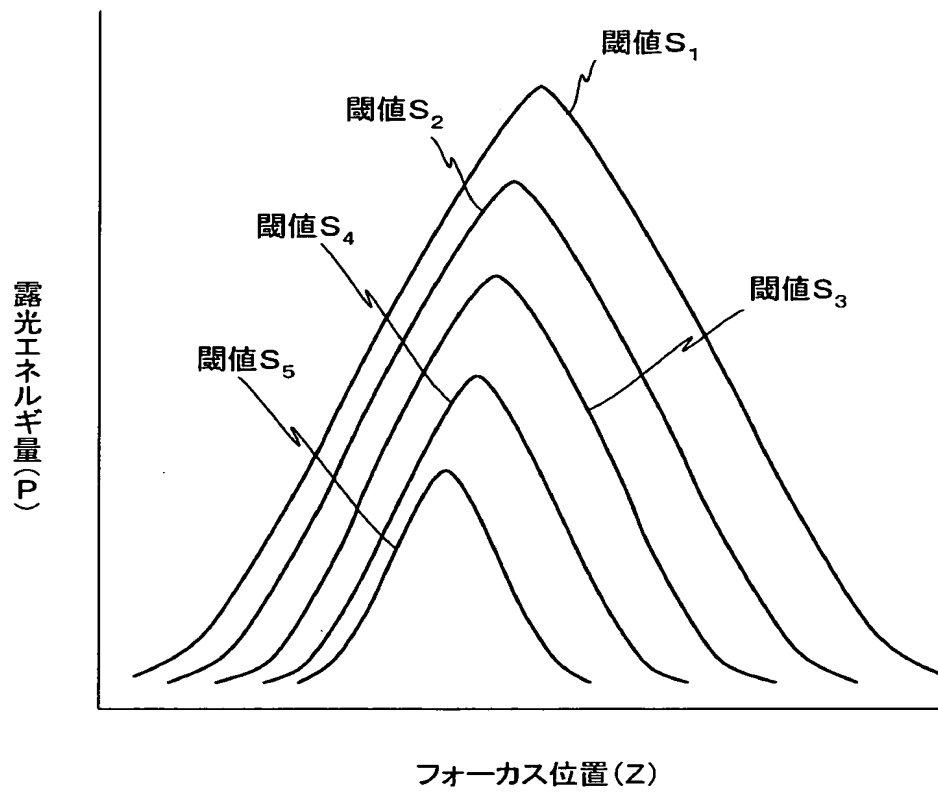
【図 13】



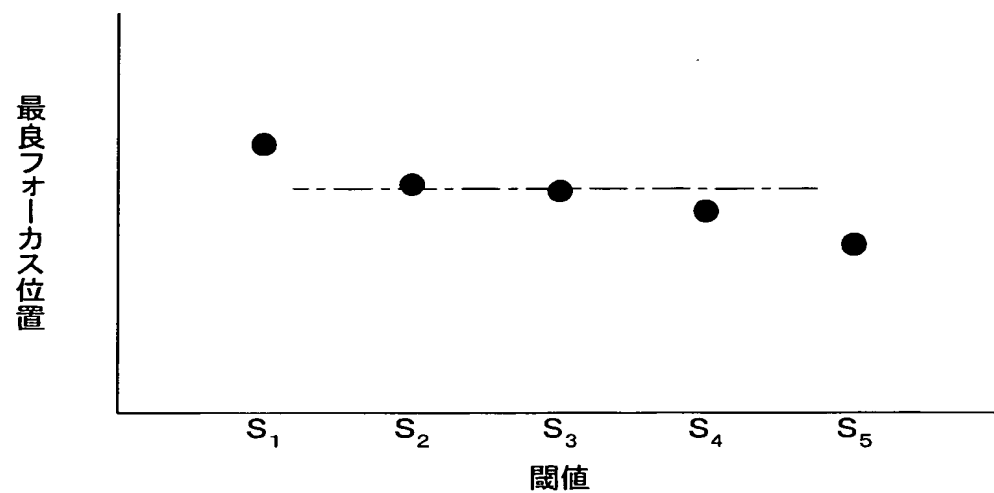
【図 14】



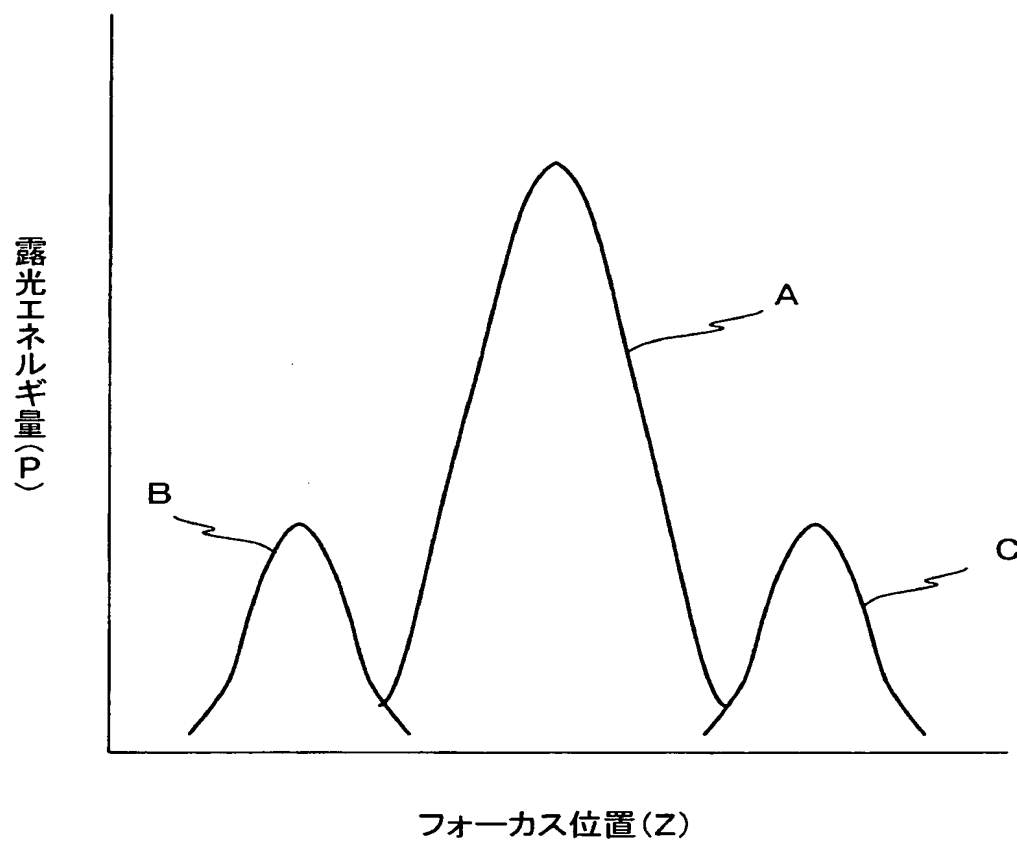
【図 15】



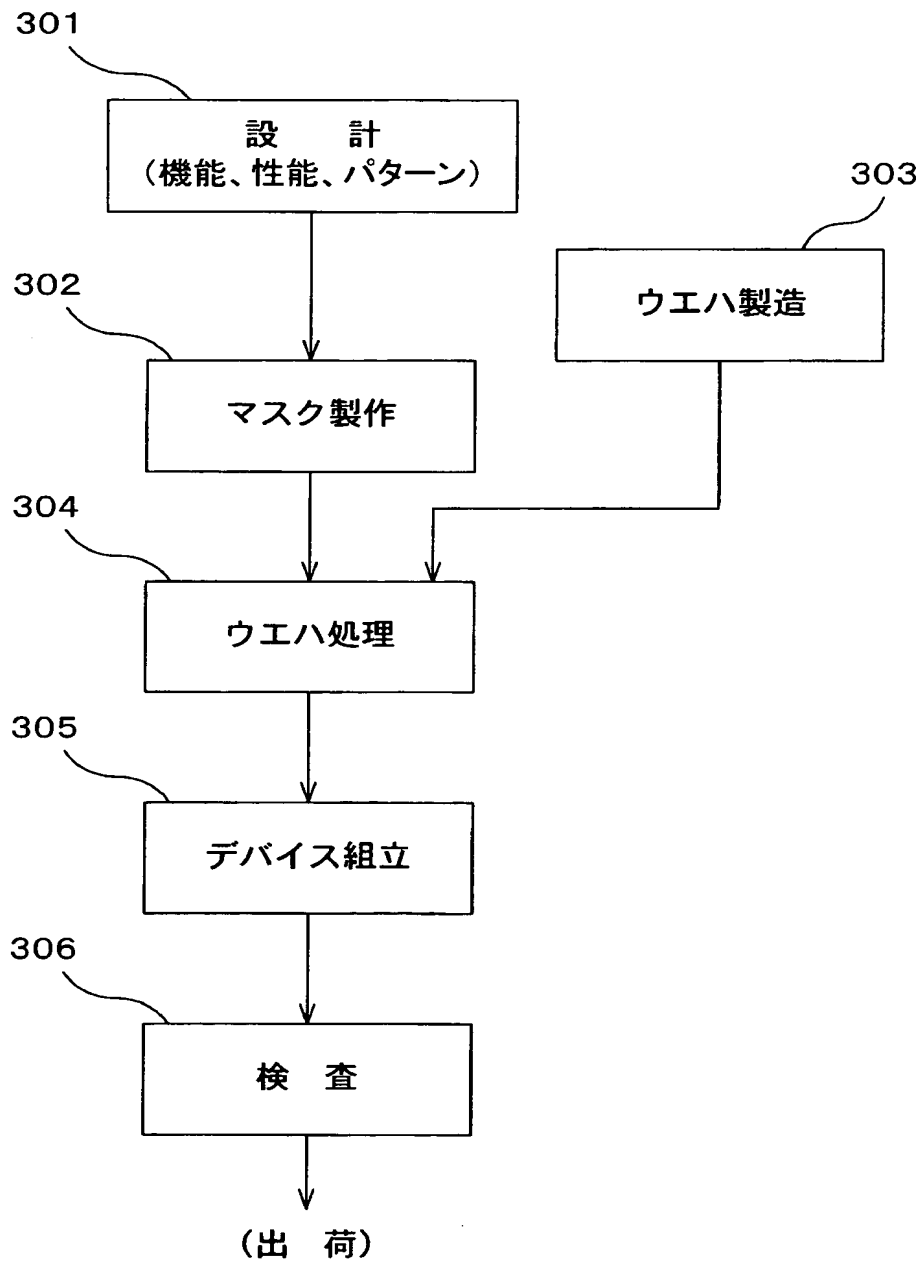
【図 1 6】



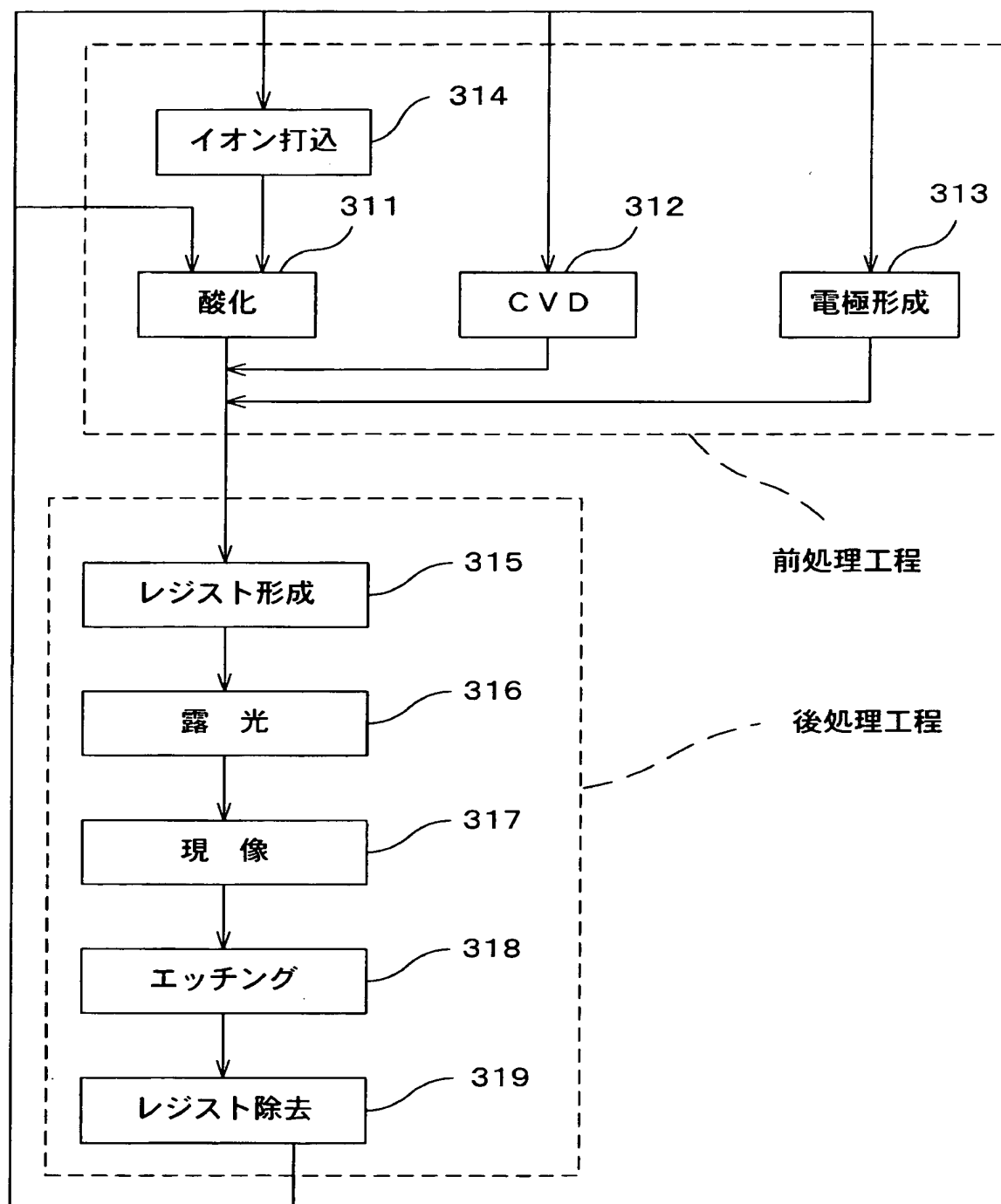
【図 17】



【図 18】



【図 19】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 短時間で、精度及び再現性良く投影光学系の光学特性を計測することができる光学特性計測方法を提供する。

【解決手段】 少なくとも 1 つの露光条件を変更しながら、第 1 面上に配置された計測用パターン（2 0 0）の像を投影光学系の第 2 面側に配置された基板（W）上の複数の領域に順次転写する。そして、計測用パターンが異なる露光条件で転写された基板上の複数の領域の各々を撮像し、複数のピクセルデータからなる領域毎の撮像データをそれぞれ求め、領域毎にピクセルデータの加算値及び分散の少なくとも一方と所定の閾値とを比較して計測用パターンの像の形成状態を検出する。さらに、この検出結果に基づいて投影光学系の光学特性を求める。

【選択図】 図 5

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 1 - 1 3 5 7 7 9
受付番号	5 0 1 0 0 6 4 9 7 6 5
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0 0 9 4
作成日	平成 1 3 年 5 月 8 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成13年 5月 7日

次頁無

特願 2 0 0 1 - 1 3 5 7 7 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 1 1 2]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号

氏 名

株式会社ニコン